



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

### **TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ.**

**TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INYECTORES  
MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE MOTORES DIÉSEL, CON EL USO DE  
BIODIÉSEL. CON MEZCLAS B5 Y B10.**

**AUTOR: LUIS MIGUEL GUERRERO QUINTANA**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MAFLA Msc.**

**IBARRA, FEBRERO 2018**

## **CERTIFICADO**

### **ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### **CERTIFICO:**

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "Análisis del comportamiento de los inyectores mecánicos y electrónicos de motores diésel, con el uso de biodiésel. Con mezclas b5 y b10." presentado por el señor: Luis Miguel Guerrero Quintana con número de cédula 1003367685, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, 23 días del mes Febrero del 2018.

Atentamente



MSc. Carlos Nolasco Mafla Yépez.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

### UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de texto completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO	
<b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003367685
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Guerrero Quintana Luis Miguel
<b>DIRECCIÓN:</b>	Guaranda 481 e Isla Santa Cruz
<b>EMAIL:</b>	lmguerreroq@utn.edu.ec
<b>TELEFONO FIJO:</b>	<b>TELEFONO:</b> 062545154 <b>MÓVIL:</b> 0998759774

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Análisis del comportamiento de los inyectores mecánicos y electrónicos de motores diésel, con el uso de biodiésel. Con mezclas B5 y B10.
<b>AUTORES:</b>	Luis Miguel Guerrero Quintana
<b>FECHA:</b>	23 de febrero del 2018
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	MSC. Carlos Nolasco Mafla Yépez

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

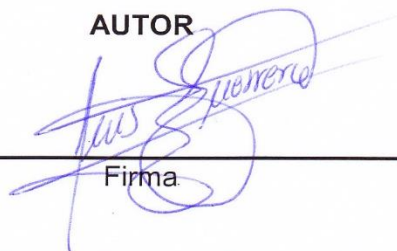
Yo, **Luis Miguel Guerrero Quintana** con cédula de identidad Nro. **1003367685**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de febrero del 2018.

**AUTOR**



Firma

Luis Miguel Guerrero Quintana

Nombre completo

1003367685

C.C



## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Luis Miguel Guerrero Quintana** con cédula de identidad Nro. **1003367685**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **Análisis del comportamiento de los inyectores mecánicos y electrónicos de motores diésel, con el uso de biodiésel. Con mezclas b5 y b10.** Que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**, en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi Condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



---

Firma

Luis Miguel Guerrero Quintana

---

Nombre completo

1003367685

---

C.C

Ibarra, a los 23 días del mes de febrero de 2018.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado es dedicado a mis padres, hermanos y todas las personas de mi querida familia, quienes, con sus consejos y el apoyo brindado, han sabido guiarme por los caminos del conocimiento, con el fin de convertirme en una persona de un gran intelecto moral.

También quiero extender mi más profundo agradecimiento a todos los compañeros docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, que han compartido sus conocimientos para poder alcanzar mis metas en el campo profesional.

**LUIS MIGUEL GUERRERO QUINTANA**

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha formado con sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional. Así como, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, que me han guiado por el camino del conocimiento, compartiendo su sabiduría y experiencias en el transcurso del día a día.

Quiero expresar un profundo agradecimiento a mi madre Angelita del Carmen Quintana y a mi padre Luis Alberto Guerrero, por su constante apoyo y paciencia, para ser una persona de bien.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	NUM. PÁG.
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	1
1.3 Formulación del problema.....	2
1.4 Delimitación.....	2
1.4.1 Delimitación Espacial .....	2
1.4.2 Delimitación Temporal .....	3
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo General .....	3
1.5.2 Objetivos Específicos .....	3
1.6 Justificación .....	4
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>5</b>
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Biocombustible.....	5
2.1.2 Clasificación de los biocombustibles .....	5
2.2 El Biodiésel. ....	8
2.2.1 Biodiésel a partir del aceite de la higuera.....	9
2.3 Combustión de motores diésel con el uso de biodiésel. ....	11
2.3.1 Ventajas del uso de biodiésel.....	11
2.3.2 Desventajas del uso de biodiésel. ....	12
2.4 Normativas de la elaboración del biodiésel.....	12
2.4.1 Normas ASTM .....	12
2.4.2 Normas INEN .....	13
2.5 La glicerina en el biodiésel.....	14
2.6 Pruebas que se pueden realizar en los inyectores diésel.....	14
2.6.1 Pruebas de presión. ....	15



2.6.2	Pruebas de retorno de combustible.....	16
2.6.3	Pruebas de entrega de caudal.....	16
2.7	Injector mecánico diésel.....	17
2.7.1	Tipos de inyectores mecánicos.....	18
2.7.1.1	Injector de un solo orificio.....	18
2.7.1.2	Injector tipo lápiz.....	19
2.8	Elementos que constituyen un inyector mecánico.....	19
2.8.1	Funcionamiento del inyector mecánico.....	20
2.9	Injector electrónico diésel.....	21
2.9.1	Funcionamiento del inyector electrónico .....	24
2.10	Sistemas de Inyección Diésel .....	25
2.11	Características del flujo de inyección del combustible en motores diésel. ....	27
2.12	Parámetros característicos del chorro inyectado . ....	29
2.12.1.	La atomización de combustible .....	30
2.13	La combustión en motores diésel. ....	32
2.13.1	Fases del proceso de combustión.....	32
2.14	Proceso de combustión del chorro diésel. ....	33
2.15	El chorro diésel.....	34
2.16	Factores que intervienen en la atomización.....	36
2.17	Características macroscópicas del chorro diésel. ....	36
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>38</b>
3.	<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>38</b>
3.1	Proceso de elaboración del biodiésel.....	38
3.1.1	Aceite de Higuera.....	38
3.1.2	Hidróxido de sodio .....	39
3.1.3	Metanol.....	39
3.1.4	Reactor Químico.....	40
3.2	Obtención del Biocombustible. ....	41
3.3	Certificación del biocombustible.....	45
3.4	Pruebas de torque y potencia. ....	46
3.5	El diésel y las mezclas B5 y B10.....	48
3.5.1	Diésel.....	48
3.5.2	Mezcla B5.....	49
3.5.3.	Mezcla B10.....	50

3.6	Esquema interno del inyector mecánico y electrónico diésel.....	51
3.7	Pruebas de trabajo de inyectores en el Laboratorio.....	52
3.7.1	Chorro diésel Inyector mecánico.....	53
3.7.2	Chorro diésel Inyector electrónico.....	54
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>55</b>
4.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
4.1	Comparación del rendimiento del motor diésel al uso de diésel convencional, biodiesel con mezclas B10. ....	55
4.1.1	Potencia diésel vs Potencia B10 .....	55
4.1.2	Par motor con diésel vs par motor B10 .....	57
4.2	Análisis de los parámetros de funcionamiento de los inyectores mecánicos, al uso del biocombustible. ....	58
4.2.1	Ángulo del chorro calculado al uso de diésel.....	59
4.2.2	Ángulo del chorro calculado al uso de biodiesel B5. ....	60
4.2.3	Ángulo del chorro calculado al uso de Biodiesel B10.....	60
4.3	Análisis de los parámetros de funcionamiento de los inyectores electrónicos, al uso del biocombustible. ....	62
4.3.1	Ángulo del chorro calculado al uso de diésel.....	62
4.3.2	Ángulo del chorro calculado al uso de biodiésel B5. ....	63
4.3.3	Ángulo del chorro calculado al uso de Biodiésel B10.....	63
4.4	Prueba de entrega y retorno de caudal usando diésel y biodiésel.....	64
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>66</b>
5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>
5.1	Conclusiones.....	66
5.2	Recomendaciones.....	67
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>68</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>70</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		NUM. PÁG.
<b>Tabla 2.1</b>	Clasificación de los biocombustibles según su origen. ....	6
<b>Tabla 2.2</b>	Clasificación de los biocombustibles según su aspecto Físico.....	8
<b>Tabla 3.1</b>	Análisis fisicoquímico del biodiésel a base de higuera mezcla B10.....	45
<b>Tabla 3.2</b>	Biodiésel vs diésel. ....	46
<b>Tabla 4.1</b>	Potencia Diésel vs Biodiésel B10.....	55
<b>Tabla 4.2</b>	Par Motor diésel vs Biodiésel B10. ....	57
<b>Tabla 4.3</b>	Resultados de ángulo de chorro usando diésel. ....	59
<b>Tabla 4.4</b>	Resultados de ángulo usando biodiésel B5. ....	60
<b>Tabla 4.5</b>	Resultados ángulo usando biodiésel B10. ....	61
<b>Tabla 4.6</b>	Resultados de ángulo de chorro usando diésel. ....	62
<b>Tabla 4.7</b>	Resultados de ángulo usando biodiésel B5. ....	63
<b>Tabla 4.8</b>	Resultados ángulo usando biodiésel B10. ....	63
<b>Tabla 4.9</b>	Datos Obtenidos de la Prueba de inyectores diésel. ....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

	NUM. PÁG.
<b>Figura 2.1</b> Anatomía de la higuera.....	9
<b>Figura 2.2</b> Estructura química del biodiésel. ....	10
<b>Figura 2.3</b> Comprobador de Inyectores mecánicos. ....	15
<b>Figura 2.4</b> Banco de pruebas de retorno para inyectores diésel. ....	16
<b>Figura 2.5</b> Probetas de medida de caudal. ....	17
<b>Figura 3.1</b> Planta de Higuera, Aceite de Ricino (Higuera). ....	38
<b>Figura 3.2</b> Hidróxido de Sodio. ....	39
<b>Figura 3.3</b> Metanol 99%. ....	40
<b>Figura 3.4</b> Reactor químico. ....	40
<b>Figura 3.5</b> Materiales a Utilizar. ....	41
<b>Figura 3.6</b> Pruebas de pH mezcla metóxido de sodio. ....	42
<b>Figura 3.7</b> Adaptaciones en el reactor químico. ....	42
<b>Figura 3.8</b> Control de temperatura en el reactor. ....	43
<b>Figura 3.9</b> Proceso de Transesterificación. ....	43
<b>Figura 3.10</b> Decantación del biodiésel por reposo. ....	44
<b>Figura 3.11</b> Lavado del biodiésel con agua. ....	44
<b>Figura 3.12</b> Vehículo de prueba kia sorento diésel ....	47
<b>Figura 3.13</b> Resultados Pruebas Par Potencia. ....	48
<b>Figura 3.14</b> Vista microscópica del diésel premium. ....	49
<b>Figura 3.15</b> Vista microscópica del biodiesel mezcla B5. ....	50
<b>Figura 3.16</b> Vista microscópica de la mezcla B10. ....	50
<b>Figura 3.17</b> Corte del inyector mecánico diésel. ....	51
<b>Figura 3.18</b> Inyector electrónico diésel. ....	52
<b>Figura 3.19</b> Ángulo de chorro diésel. ....	53
<b>Figura 3.20</b> Pruebas con inyectores mecánicos. ....	53
<b>Figura 3.21</b> Pruebas con Inyector electrónico. ....	54
<b>Figura 4.1</b> Potencia motor usando Diésel y Biodiésel. ....	56
<b>Figura 4.2</b> Par motor Diésel vs Biodiésel B10 ....	58
<b>Figura 4.3</b> Chorro diésel. ....	59

<b>Figura 4.4.</b>	Comparación del ángulo de chorro en un inyector tipo tetón usando diésel y biodiésel.....	61
<b>Figura 4.5</b>	Comparación ángulo del chorro en inyector electrónico usando diésel y biodiésel B5 y B10. ....	64
<b>Figura AI. 1</b>	Reactor químico utilizado para la elaboración del biodiésel a partir del aceite de higuera.....	71
<b>Figura AI. 2</b>	Control de la temperatura dentro del proceso de transesterificación, Lavado del biodiésel después del proceso de transesterificación.....	71
<b>Figura AI. 3</b>	Evaporación del agua mediante por medio de la temperatura, Separación del biodiésel por reposo.....	71
<b>Figura AII. 1</b>	Certificación del biocombustible otorgado por la Universidad Central del Ecuador.....	73
<b>Figura AIII. 1</b>	Equipo de medición del dinamómetro.....	74
<b>Figura AIII. 2</b>	Medición de las mezclas B5 y B10.....	74
<b>Figura AIII. 3</b>	Programa de medición en el dinamómetro.....	75
<b>Figura AIV. 1</b>	Resultados de torque y potencia del motor usando diésel. ....	76
<b>Figura AIV. 2</b>	Resultados de torque y potencia del motor usando biodiésel con mezcla B10. ....	77
<b>Figura AV. 1</b>	Corte del inyector mecánico y electrónico.....	78
<b>Figura AV. 2</b>	Corte de las toberas de inyección.....	78
<b>Figura AV. 3</b>	Pruebas para cálculo del ángulo en los inyectores electrónicos.....	79
<b>Figura AV. 4</b>	Pruebas de entrega y retorno de combustible.....	79
<b>Figura AV. 5</b>	Chorro diésel mostrado en la prueba.....	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

	NUM.
	PÁG.
<b>ANEXO I</b>	
Obtención del Biodiésel .....	71
<b>ANEXO II</b>	
Certificación del Biodiésel .....	73
<b>ANEXO III</b>	
Pruebas Torque y Potencia .....	74
<b>ANEXO IV</b>	
Resultados Torque y Potencia .....	76
<b>ANEXO V</b>	
Estudio en los inyectores diésel.....	78

## RESUMEN

La presente investigación corresponde al análisis del comportamiento de los inyectores diésel, al usar un combustible ajeno al proveniente de residuos fósiles; para eso se obtuvo un biocombustible a base del aceite de higuera (Ricinus communis), para realizar ensayos de laboratorio e identificar cual es el comportamiento de los inyectores diésel con el uso del biodiésel.

Dentro de la investigación se realizó el estudio interno de los inyectores mecánicos y electrónicos, identificando los elementos internos de estos; también se analizó como es el recorrido del combustible en el interior de los inyectores, desde la entrada del combustible hasta llegar a los orificios de atomización.

Para realizar las pruebas de laboratorio se usó el biodiésel con mezclas B5 y B10, para poner en funcionamiento a los inyectores diésel, se utilizó el probador de inyectores mecánicos, con la finalidad de verificar si su comportamiento es el mismo o presenta alguna variación al uso del biocombustible obtenido.

En la parte final de las pruebas de laboratorio, se realizó la comparación de las características del proceso de inyección usando diésel común, biodiésel con mezclas B5 y B10; las características que se ha tomado en cuenta son la capacidad de penetración del chorro diésel y su ángulo formado en los orificios de la tobera de inyección, de los inyectores mecánicos y electrónicos. Además, en los inyectores electrónicos se realizó la prueba de entrega y retorno de combustible, y justificar los resultados obtenidos por otras investigaciones en relación al consumo de combustible usando biodiésel.

## ABSTRACT

The present investigation corresponds to the analysis of the behavior of diesel injectors, when using a fuel other than fossil waste; For this, a biofuel based on castor oil (*Ricinus communis*) was obtained to carry out laboratory tests and identify the behavior of diesel injectors with the use of biodiesel.

In the investigation, the internal study of the mechanical and electronic injectors was carried out, identifying the internal elements of these; It was also analyzed how it is the fuel path inside the injectors, from the fuel input to the spray orifices.

To carry out the laboratory tests, biodiesel with B5 and B10 mixtures was used to start the diesel injectors, the mechanical injector tester was used, in order to verify if its behavior is the same or if there is any variation to the use of the biofuel obtained.

In the final part of the laboratory tests, the characteristics of the injection process were compared using common diesel, biodiesel with B5 and B10 mixtures; the characteristics that have been taken into account are the penetration capacity of the diesel jet and its angle formed in the orifices of the injection nozzle, of the mechanical and electronic injectors. In addition, in the electronic injectors, the fuel delivery and return test was performed, and the results obtained by other investigations related to fuel consumption using biodiesel were justified.



# **CAPÍTULO I**

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Durante muchos años, se ha utilizado combustibles fósiles como la energía principal en el funcionamiento de los motores de combustión interna, dentro de ellos tenemos los motores diésel, los cuales, son motores de un buen rendimiento y de un consumo relativamente reducido.

El combustible es un cuerpo o sustancia, que cuando este combustiona puede ser una fuente de calor, así como, una fuente liberadora de energía. Estos combustibles se encuentran en su estado líquido, para el funcionamiento en motores de los vehículos usados en la actualidad, entre los combustibles más usados tenemos: el gasoil, queroseno o la gasolina.

El motor inventado y patentado por Rudolf Diesel en 1885, es un motor térmico de combustión interna, donde su encendido se produce por las elevadas temperaturas que el aire alcanza al ser comprimido en la cámara de combustión (Ivonne & Gonzales, 2015, pág. 2).

Para que estos motores tengan una eficiencia en su funcionamiento es necesario utilizar un buen combustible (diésel). Pero el uso de estos combustibles de origen fósiles, genera residuos nocivos para el entorno natural de nuestro planeta; es por esta razón que, se ha buscado combustibles alternativos (biocombustibles), los cuales, están destinados a reducir en lo máximo posible la emanación de este tipo de residuos a nuestro medio ambiente.

Es por eso que, gracias a los nuevos avances tecnológicos con respecto al sistema de alimentación de combustible, el desarrollo de combustibles alternativos; tanto para motores diésel como a gasolina, han implementado nuevos componentes, los cuales, trabajan coordinadamente para gestionar de forma óptima el funcionamiento del motor diésel, que en este trabajo de investigación será el sistema de alimentación de motores diésel.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El motor diésel funciona de una forma eficaz, reduciendo daños a sus elementos motrices y por consecuente los costos de reparación de estos, cuando se utiliza combustibles de buena

calidad. El diésel que de alguna forma se encuentra contaminado, presenta capas o mantos espesos producidos por bacterias, excretando gomas y ácidos en el sistema.

También estas bacterias con sus residuos afectan: la energía potencial del combustible, disminuyen el poder calorífico, reducen los sulfatos del combustible a sulfuros y afecta la lubricidad del mismo. Es por esta razón que el estudio de los efectos que producen cuando, se empieza a utilizar como combustible, pues el continuo uso puede afectar o causar daños en el sistema de alimentación del motor, en la bomba de inyección, los inyectores y pueden alterar la combustión dentro del cilindro, las emisiones de gases y el rendimiento del motor. (Ivonne & Gonzales, 2015, pág. 27)

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo afecta el funcionamiento de los inyectores mecánicos y electrónicos de un motor diésel, al usar biodiésel a base de higuera, con mezclas B5 y B10?

### **1.4 DELIMITACIÓN**

La delimitación en un trabajo de grado, permite enfocar en términos precisos el área de interés de este, definir sus alcances, determinar sus límites. Es llevar un problema de investigación con un grado de dificultad muy grande, con una difícil solución a una realidad concreta, fácil de manejar (Chinchilla, 2015, pág. 3).

#### **1.4.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL**

La presente investigación se desarrolló en los laboratorios de química de la Unidad Educativa 17 de Julio, para la obtención del Biodiésel; donde, se realizó el proceso de transesterificación al aceite de higuera; en los laboratorios de CCICEV, donde, se realizó las pruebas de torque y potencia del motor, al uso del diésel y el biodiésel con una mezcla B10, en los laboratorios diésel perteneciente a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, donde se realizó las Pruebas en los Inyectores.

### **1.4.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL**

El trabajo se lo realizara durante un periodo comprendido entre el mes de: Febrero del 2017 al mes de Febrero del 2018, desde su etapa de aprobación hasta la culminación de esta.

## **1.5 OBJETIVOS**

Los objetivos en un trabajo de investigación tienen como finalidad determinar, que es lo que deseamos lograr o alcanzar en nuestra investigación de un medio claro, confiable y preciso, estos son: el objetivo general que abarca todo el trabajo de investigación y los específicos son orientados al cumplimiento de actividades que sustentan el cumplimiento del objetivo general (Plan de Orientación y Acción Tutorial, 2010, pág. 2).

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar el comportamiento de los inyectores mecánicos y electrónicos de motores diésel, con el uso de biodiésel, con mezclas B5 y B10.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar bibliográficamente sobre inyectores mecánicos y electrónicos de Motores Diésel.
- Analizar el comportamiento funcional de los inyectores mecánicos y electrónicos, con el uso de biodiésel a base de higuerilla, con mezclas B5 y B10.
- Identificar los residuos generados dentro de los inyectores usados en motores diésel.
- Comparar el funcionamiento de los inyectores mecánicos y electrónicos con el uso de diésel y biodiésel.

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto se enfoca en favorecer a la elaboración y consumo de nuevos combustibles alternativos, que son ajenos al petróleo, las mismas que sean de calidad, limpias y amigables con la naturaleza. Reduciendo en lo máximo posible la generación de cenizas al medio ambiente como resultado de la combustión de los vehículos, que utilizamos como medio de transporte hoy en día.

Por este motivo el presente proyecto pretende alinearse a los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir, que son hoy en día el compromiso integra de las actuales generaciones, así como de las futuras, para anticipar el progreso de la humanidad.

Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global; Objetivo 7.7. Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental; Objetivo 7.7.b. Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento y Objetivo 7.7.c. Reducir gradualmente el uso de combustibles fósiles en el transporte y sustituir los vehículos convencionales, fomentando la movilidad sustentable.

Por estos motivos, hoy en día la fabricación de los biocombustibles para motores diésel, contribuye directamente con la necesidad de transportarnos para realizar varias actividades como: salir a las unidades educativas, a las plazas de trabajo, salir de viaje, entre otras actividades. Para lo que es necesario la utilización del vehículo (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013 , pág. 7).

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 BIOCOMBUSTIBLE**

El biocombustible es un combustible proveniente de una fuente biológica conocida como biomasa, que no se ha fosilizado al paso del tiempo, a esto se refiere a la materia orgánica de procedencia de los seres vivos, sea estas las plantas, los animales o los desechos metabólicos. Los componentes usados en la actualidad para la producción del biocombustible, se originan del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas.

Los biocombustibles de origen biológico reemplazan parcialmente el consumo de los combustibles fósiles comúnmente usados, como son los derivados del petróleo y también el carbón. Los combustibles más investigados, desarrollados y utilizados son el bioetanol y el biodiésel; entonces, los biocombustibles son una fuente de energía alternativa que se pueden usar en los casos de que los precios de los hidrocarburos dejen de ser subsidiados o eleven su precio ante la tendencia de la escases de estos. También se suma, el aporte en la reducción de gases contaminantes al medio ambiente, que en parte destruyen o alteran su estabilidad (Salinas & Gasca, 2009, pág. 79).

#### **2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES**

En la actualidad, los restos provenientes de las plantas o árboles como la leña o el carbón vegetal, siguen siendo utilizados como combustible para la cocina, medio de calefacción y como una fuente de luz. Donde, su principal característica es que puede ser renovable, con la reforestación de los bosques y zonas que han consumido estos materiales; de la misma forma, en desarrollo de los biocombustibles como el metanol y el biodiésel, permiten el uso en vehículos de carga ligera. En ciertos países, como la India y la China, se produce un biogás mediante la fermentación de los desechos animales y vegetales (Lede, 2010, pág. 10). En la Tabla 2.1, muestra la clasificación de los biocombustibles en base a los criterios: de origen, donde se observa la variedad de materiales que se pueden utilizar para la elaboración de biocombustibles; reciclando toda la biomasa que se desecha, en la elaboración de distintos productos.

En función de su origen:

**Tabla 2.1** Clasificación de los biocombustibles según su origen.

Origen del biocombustible	Especie o procedencia	
<b>Cultivos energéticos</b>	Agrícolas	Cardo, sorgo, miscanto, girasol, soja, maíz, trigo, cebada, remolacha, especies C4, agrícolas.
	Forestales	Chopos, sauces, eucaliptos, robirias, acacias, especies C4 forestales
<b>Restos de cultivos agrícolas</b>	cultivos herbáceos	Paja, restos de cereales y otras especies herbáceas
	cultivos leñosos	Olivo, vid, frutales de hueso, frutales de pepita y otras especies leñosas
<b>Resto de tratamientos selvícolas</b>	Podas, claras, clareos.	Especies forestales de los montes.
<b>Restos de industrias forestales</b>	Industrias de primera transformación de la madera	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias.
	Industrias de segunda transformación de madera.	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias.
<b>Restos de industrias agro-alimentarias</b>		Especies vegetales usados en la industria de alimentación.
<b>Restos de explotaciones ganaderas</b>		Animales de granja, domésticos.
<b>Restos de actividades humanas</b>		Todo tipo de biomasas sólidas urbanas.

**Tabla 2.1** Clasificación de los biocombustibles según su origen (**Continuación...**)

Origen del biocombustible		Especie o procedencia
<b>Cultivos energéticos</b>	Agrícolas	Cardo, sorgo, miscanto, girasol, soja, maíz, trigo, cebada, remolacha, especies C4, agrícolas.
	Forestales	Chopos, sauces, eucaliptos, robirias, acacias, especies C4 forestales
<b>Restos de cultivos agrícolas</b>	cultivos herbáceos	Paja, restos de cereales y otras especies herbáceas. (Continuación ...)
	cultivos leñosos	Olivo, vid, frutales de hueso, frutales de pepita y otras especies leñosas.
<b>Resto de tratamientos servícolas</b>	Podas, claras, clareos.	Especies forestales de los montes.
<b>Restos de industrias forestales</b>	Industrias de primera transformación de la madera	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias.
	Industrias de segunda transformación de madera.	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias.
<b>Restos de industrias agro-alimentarias</b>		Especies vegetales usados en la industria de alimentación.
<b>Restos de explotaciones ganaderas</b>		Animales de granja, domésticos.
<b>Restos de actividades humanas</b>		Todo tipo de biomásas sólidas urbanas.

Fuente: (Karina, 2012, pág. 7)

En función de su aspecto físico:

**Tabla 2.2** Clasificación de los biocombustibles según su aspecto Físico.

Aspecto Físico	Biocombustible
<b>Sólidos</b>	Leñas y astillas, Paja de cereales y biomasa de cardo, miscanthus, biocombustibles sólidos densificados y carbón vegetal miscanthus...
<b>Líquidos</b>	Líquido perileñoso, Líquido de hidrólisis, bioetanol, aditivos oxigenados, aceite vegetal, metiléster.
<b>Gases</b>	Biogás de origen muy diverso.

Fuente: (Karina, 2012, pág. 8).

La Tabla 2.2 muestra la clasificación de los biocombustibles, donde se observa que son materiales que encontramos con mucha facilidad en determinadas proporciones y de acuerdo al uso que le vamos a designar. Además, se puede apreciar que los biocombustibles sólidos y líquidos representan una mayor diversidad que en el caso de los biocombustibles en estado gaseoso encontrados en nuestros medios.

## 2.2 EL BIODIÉSEL.

El Biodiésel es un combustible derivado a partir de la biomasa, esta puede ser procedente de materias agrarias (aceites vegetales y/o grasas animales). El biodiésel posee propiedades fisicoquímicas semejantes al del combustible diésel fósil, que en la actualidad es usado en los automóviles, camiones, buses entre otros vehículos. Este puede ser combinado en cualquier proporción con el diésel obtenido del proceso de refinación del petróleo. Por ejemplo, B20 quiere decir: una mezcla con 20% de biodiésel y 80% de diésel de petróleo siendo esta la mezcla más utilizada en nuestros medios. (Stratta, 2000, pág. 10)

A partir de las normas ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales); muestra que en la estructura molecular del biodiésel presentando cadenas largas de esteres y ácidos grasos; procedentes de aceites naturales y animales, estos pueden ser usados en los motores de combustión Diésel. Con la diferencia en rendimiento que puede generar en el motor usando diferentes tipos de materia prima. (Medina, Chávez, & Rincón, 2012, pág. 4).



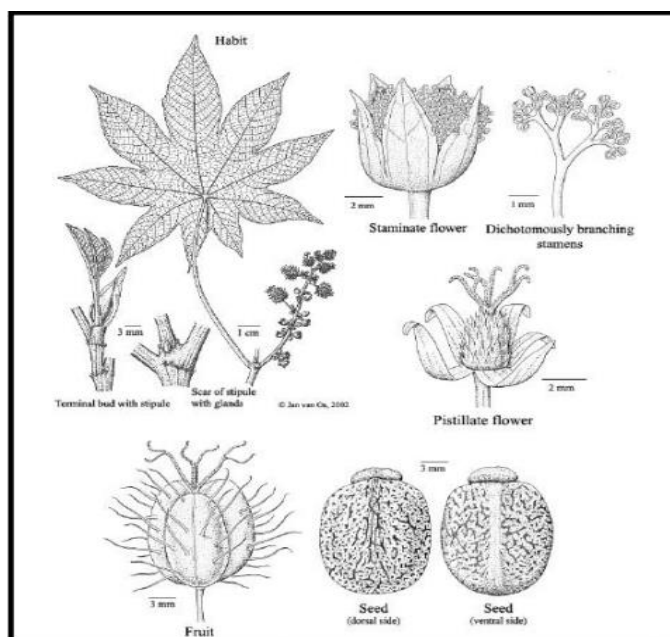
### 2.2.1 BIODIÉSEL A PARTIR DEL ACEITE DE LA HIGUERILLA.

La higuierilla es una planta que se cultiva en ambientes con climas templados, tiene una altura promedio de 8 a 10 metros que, en ambientes con un grado alto de humedad y calor, estos alcanzarían fácilmente varios metros de altura, las semillas de higuierilla componen de entre 35% a 55%, de los ácidos ricinoleico, isoricinoleico, ricina (altamente venenosa si es administrada vía oral o endovenosa) y ricina.

Su alto contenido del ácido ricinoleico, tiene la capacidad de ser lubricante, presenta una alta resistencia a las elevadas temperaturas, siendo la materia prima más utilizada en la industria oleoquímica, esto permite a las empresas la posibilidad de transformación del aceite en varios productos derivados del petróleo, que en este caso se utilizará para el desarrollo del biodiésel. (Karina, 2012, pág. 4)

El aceite de higuierilla es también conocido como el aceite de ricino la cual proviene de la semilla de la higuierilla. Este aceite es por naturaleza química muy viscoso, miscible al alcohol y de bajo punto de solidificación.

Para la elaboración del aceite; se extrae el aceite de sus semillas mediante un proceso, sea este de prensado mecánico o utilizando ciertos catalizadores para una extracción química. Posteriormente pasa a un proceso denominado como transesterificación, el cual nos permite separar sus componentes y obtener el biodiésel y la glicerina. (Karina, 2012, pág. 24).



**Figura 2.1** Anatomía de la higuierilla  
(Karina, 2012, pág. 48)

En la Figura 2.1 se observa la estructura de la planta y la semilla de la higuera, apreciando su estructura física mostrada en la naturaleza.

El máximo rendimiento del aceite de higuera, en el proceso de su extracción se obtiene bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura ambiente.
- Una relación molar metanol/aceite de 9:1.
- Concentración de catalizador de 0.8%.

Cuando se ha obtenido el biodiésel de aceite de higuera, este puede ser mezclado con; el combustible diésel convencional derivado del petróleo, en proporciones hasta del 15%, sin que la mezcla resultante, salga de las especificaciones de calidad establecidas por normas, en los estándares nacionales e internacionales para combustibles diésel y su posterior uso en motores de vehículos que usan diésel como combustible. La mayor dificultad para el uso del biodiésel de aceite de higuera en su estado puro, es decir sin la combinación con el diésel convencional en motores funcionales, es su alta viscosidad presentada, esto podría producir daños en las partes internas de los elementos que constituyen el sistema de alimentación de combustible. Sin embargo, este biocombustible presenta excelentes propiedades de flujo a baja temperatura (Stratta, 2000, pág. 19).



**Figura 2.2** Estructura química del biodiésel.  
 (Karina, 2012, pág. 11)

La Figura 2.2 muestra la cadena química del biodiésel donde, se observa la presencia del oxígeno, las cadenas de ácidos grasos (cadenas largas) y las cadenas desprendidas del alcohol que se ha utilizado en el proceso de transesterificación (cadenas cortas). Estas cadenas se descomponen al momento de la reacción química de la combustión.

## **2.2 COMBUSTIÓN DE MOTORES DIÉSEL CON EL USO DE BIODIÉSEL.**

En un motor Diésel el principio de funcionamiento se relaciona al factor Presión - Temperatura, los cuales son indispensables para la quema de diésel o el biodiésel, sea éste usado como único combustible o mezclado con el diésel de petróleo. Algunos estudios realizados, han mostrado reducciones hasta del 25% en las emisiones, en motores no modificados al usar mezclas de hasta 35% de biodiésel. Esto indicaría que la reducción en la emisión de material particulado, se debe al contenido de oxígeno de la mezcla de biodiésel, el cual sustituye al oxígeno del aire en las regiones de mezcla ineficiente del combustible con el aire (Manuel Michelena, 2008, pág. 27).

El potencial de destrucción de la capa de ozono al utilizar biocombustible en el motor, diésel sería notablemente menor, sobre todo si se utiliza un biocombustible B100, es así como, las emisiones de sulfatos y óxidos de azufre (componentes principales de la lluvia ácida) son eliminados con el uso de B100.

Los contaminantes críticos al uso de biodiésel, son notoriamente inferiores de la siguiente forma:

- Monóxido de carbono: 50% menos.
- Partículas en suspensión: 30% menos.
- Hidrocarburos totales sin quemar: 93% menos.

Esto cobra notoria importancia, ya que estos hidrocarburos participan en la destrucción de la capa de ozono (Manuel Michelena, 2008, pág. 65).

### **2.3.1 VENTAJAS DEL USO DE BIODIÉSEL.**

El biodiésel al ser un combustible, que se origina de la biomasa presenta ventajas al usarlo como combustible, entre algunas ventajas tenemos:

- Es un combustible que reduce los efectos negativos al ambiente.
- Se origina a partir de materias primas renovables.
- Contiene menor porcentaje de azufre.
- Reduce notoriamente las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Mejora la combustión, reduciendo claramente muestras de hollín.
- Es rápidamente biodegradable por provenir de la biomasa, esta con el paso del tiempo tiende a oxidarse y perder sus propiedades físicas y químicas.

### **2.3.2 DESVENTAJAS DEL USO DE BIODIÉSEL.**

- A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.
- Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar ciertos materiales, tales como el caucho natural y la espuma de poliuretano.
- Daño a algunas mangueras y retenes del motor especialmente con vehículos antiguos.
- Costos más elevados en su producción, en comparación con los costos del diésel de petróleo que en nuestro país es subsidiado.

## **2.4 NORMATIVAS DE LA ELABORACIÓN DEL BIODIÉSEL.**

Las normas al desarrollo de un biocombustible, permite regirse a reglas o parámetros establecidos por organismos que regulan la producción de combustibles alternativos, para uso en vehículos de combustión interna; donde, la normativa que se va a utilizar en el presente proyecto de grado se rige a base de las normas ASTM y las normas INNEN.

### **2.4.1 NORMAS ASTM**

En el presente proyecto es necesario realizar algunas pruebas de campo, por lo que se debe regir a las normativas internacionales y nacionales, que regulan el uso de diésel y biodiésel en nuestro país.

La Asociación Internacional Americana de Pruebas de Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), han especificado distintas pruebas que se deben realizar a los combustibles para su correcto funcionamiento. (Fajardo, 2015, pág. 8).

A continuación, se muestra algunas normas, que se han visto útiles para la elaboración del biocombustible tales como:

- ASTM D6752, contiene las especificaciones para un diésel B100 y también ha sido aprobada para para uso en mezclas de hasta B20.

- ASTM D2709- 96a, contiene las especificaciones para la prueba de agua y sedimentos.
- ASTM D874- 07, contiene las especificaciones para la prueba de Cenizas Sulfatadas de Aceites y Aditivos Lubricantes.
- ASTM D5453-06, contiene las especificaciones para la prueba determinación del azufre.
- ASTM D130-94a, contiene las especificaciones para la prueba estándar de corrosividad del Cobre a partir de productos derivados del petróleo.
- ASTM D613-05, contiene las especificaciones para la prueba estándar para el número de cetano de combustibles diésel.
- ASTM D664-11a, contiene las especificaciones para determinación de Índice de acidez.
- ASTM D6584-07, contiene las especificaciones para la prueba de glicerina libre y total en el Biodiésel.
- ASTM D4530-06a, contiene las especificaciones para la prueba estándar para de determinación de residuo carbonoso.

#### **2.4.2 NORMAS INEN**

De acuerdo a la Norma (INEN, 2013), la cual nos indica las normativas, que rigen en nuestro país para proceso de elaboración de productos de calidad, estas son determinadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, para determinar las características que debe cumplir un combustible al usar en vehículos de combustión. A continuación, se detalla algunas normas que determinan la calidad del combustible. (INEN, 2013-2015, pág. 25)

- NTE INEN 1049, productos derivados del petróleo. Determinación del contenido de azufre. Método de alta temperatura.
- NTE INEN 1489, productos derivados del petróleo. Diésel. Requisitos.
- NTE INEN 1492, productos derivados del petróleo. Diésel. Determinación de cenizas.

- NTE INEN 1491, productos de petróleo. Determinación del residuo de carbón (conradson).
- NTE INEN 1494, productos de petróleo. Determinación de agua y sedimento por centrifugación.
- NTE INEN 1983, productos de petróleo. Fuel oil. Requisitos.
- NTE INEN 2202, gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre.

## **2.5 LA GLICERINA EN EL BIODIÉSEL**

En el proceso de producción del biodiésel de cualquier materia prima, se genera la presencia de algunos subproductos residuales; tales como: el agua con jabón, el metanol y los ácidos grasos libres. Estos surgen cuando se produce la ruptura de los triglicéridos presentes en los aceites vegetales convirtiéndose una parte en, ácidos grasos libres y la otra en la glicerina.

La glicerina es un compuesto en estado líquido que presenta alta densidad y a su vez alta viscosidad, aproximadamente 1,26 Kg/L.; por otra parte, la cantidad de glicerina que se forma en la producción de biodiésel depende directamente de la cantidad de ácidos grasos libres que contiene el aceite, existiendo una variación entre un 10 % y 30 % de la cantidad total a procesarse (Karina, 2012, pág. 60).

Es por esta razón que, al finalizar el proceso de producción del biodiésel se recomienda la limpieza o lavado del biocombustible, extrayendo toda la glicerina posible en este proceso, que se realiza por medio del reposo, de esta manera la glicerina se quede en la parte superior por su baja densidad y el biodiésel en la parte inferior.

## **2.6 PRUEBAS QUE SE PUEDEN REALIZAR EN LOS INYECTORES DIÉSEL**

Los inyectores diésel mecánicos, así como, los electrónicos son elementos constituyentes del sistema de alimentación de un motor diésel, estos funcionan en dos parámetros que son: la presión del fluido (diésel) y el tiempo de entrega de este, al interior de la cámara de combustión; donde, para un óptimo desempeño del motor diésel se debe realizar diferentes

pruebas de comportamiento de los inyectores, que nos pueden ayudar a verificar la funcionalidad de estos dentro del motor.

### **2.6.1 PRUEBAS DE PRESIÓN.**

Esta prueba está enfocada en determinar la presión que existe en el sistema, exclusivamente dentro del cuerpo del inyector, determinando así, la presión a la que debe ser expulsado el combustible, para producir una combustión óptima. Esta prueba se lo realiza, usando el comprobador de inyectores.

A continuación, se muestra el comprobador de inyectores diésel, este nos permite comprobar el estado que se encuentra el inyector mecánico o electrónico. Por lo cual este equipo de medición consta de, un manómetro con una escala de medida a la presión de trabajo de los inyectores.



**Figura 2.3** Comprobador de Inyectores mecánicos.

La Figura 2.3 muestra el comprobador de inyectores diésel mecánicos, este permite verificar, el estado funcional del inyector, evidenciando la correcta presión de funcionamiento del inyector, para permitir el paso de combustible hacia la cámara de combustión. De esta presión de inyección depende la calidad de combustión de combustible y el rendimiento del motor.

### 2.6.2 PRUEBAS DE RETORNO DE COMBUSTIBLE.

Estas pruebas son realizadas en el comprobador de inyectores electrónicos diésel, que están dirigidas a probar en sí, el estado funcional del inyector, dado que, todo el combustible no es inyectado en su totalidad. Por esta razón existe un sistema de retorno para, evitar daños excesivos en las toberas de inyección o en el peor de los casos la rotura de este.



**Figura 2.4** Banco de pruebas de retorno para inyectores diésel.

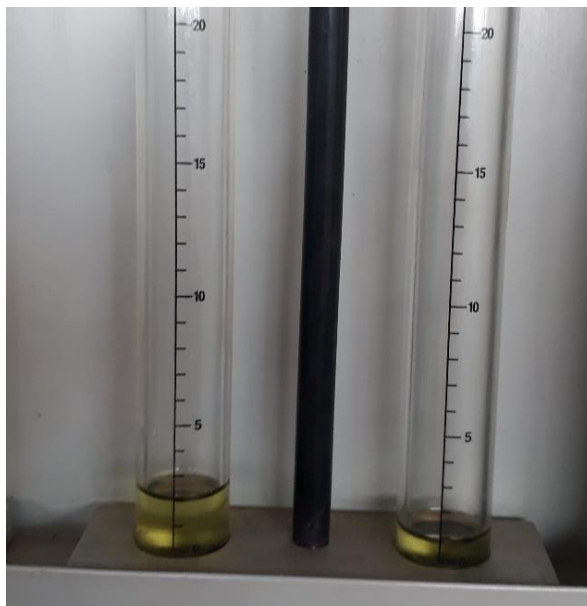
La Figura 2.4 muestra un banco comprobador de inyectores electrónicos, que permite verificar el estado funcional de los inyectores, simulando estados de trabajo reales del motor.

### 2.6.3 PRUEBAS DE ENTREGA DE CAUDAL.

Esta prueba también se lo realiza en los bancos de pruebas como nos muestra en la Figura 2.4 determinando la cantidad de combustible que la bomba está entregando al inyector; cabe mencionar que la prueba de caudal se lo realiza en base en los datos del fabricante según el tipo de inyector, así como, los datos de la bomba.

Estas pruebas están orientadas a la medición de la cantidad de combustible entregado a la cámara de combustión, las cuales se pueden medir en los inyectores con accionamiento electrónico, esto es gracias a los módulos de prueba de los inyectores, que simulan el funcionamiento del inyector cambiando las variables de inyección. A continuación, la Figura 2.5 muestra las probetas de medición de entrega y retorno de combustible.





**Figura 2.5** Probetas de medida de caudal.

La Figura 2.5 muestra el conjunto de probetas que se encuentra en el comprobador de inyectores electrónicos, lo que permite cuantificar las pruebas de entrega y retorno de combustible, determinando así, el correcto funcionamiento del inyector.

## **2.7 INYECTOR MECÁNICO DIÉSEL.**

El inyector mecánico diésel es un conjunto que tiene como finalidad la atomización del combustible (diésel), estos son activados por la presión del combustible que es determinada por la bomba de inyección, y gracias al diseño de su estructura interna las presiones pueden llegar a ser muy elevadas obteniendo una correcta atomización de combustible. (Bosch, 2017, pág. 4).

Estos inyectores fueron diseñados para motores donde, el tiempo de inyección del combustible son, determinados por la bomba de inyección y la correcta sincronización del sistema de distribución del motor. Esto permite al motor realizar su trabajo según las rpm que el motor este desarrollando.

En estos motores es muy común encontrar las cañerías del sistema de alimentación, desde la bomba de alta presión, hacia cada uno de los inyectores enviando a cada inyector la presión necesaria para su apertura.

### 2.7.1 TIPOS DE INYECTORES MECÁNICOS.

Con el paso de los años se ha visto la necesidad de la optimización de los diferentes sistemas del motor, con la finalidad de una eficiencia máxima de este. Las grandes industrias se ha visto la necesidad de diseñar nuevos elementos en los sistemas de inyección de combustible. Por lo que, dentro de los tipos de inyectores mecánicos podemos citar dos grupos como:

- Inyector de un solo orificio o tipo tetón.
- Inyector de múltiples orificios o tipo lápiz.

#### 2.7.1.1 INYECTOR DE UN SOLO ORIFICIO.

Es aquel cuya tobera de inyección cuenta con un solo orificio para, la descarga del combustible. Estos inyectores generalmente se los encuentra ubicados, en cabezotes que tienen una pre-cámara de combustión. El diámetro de su orificio esta medido entre 0,9 y 1mm de diámetro. (Sánchez, 2009, pág. 27).



**Figura 2.6** Tobera de inyector diésel de espiga  
(Sánchez, 2009)

La Figura 2.6 muestra e indica que esta tobera presenta un solo orificio de atomización de combustible, que pertenece a un sistema de inyección indirecta. Este tipo de inyector no se podría utilizar en motores de inyección directa, pues su diseño no es el adecuado para obtener una buena combustión ocasionando el mal funcionamiento del motor, en referencia a la potencia y el par motor. Este inyector es un inyector muy robusto por su diseño y su uso. Estos generalmente presentan desgaste en el contorno del orificio de inyección.

### 2.7.1.2 INYECTOR TIPO LÁPIZ.

Es generalmente encontrado en motores de inyección directa de combustible; esto significa que la tobera del inyector se encuentra directamente en la cámara de combustión, presentando cuatro o más orificios para la descarga de combustible.

Los diámetros de los orificios de inyección están entre los 0,1 y 0,3 mm, en inyectores electrónicos de accionamiento por bobina. Donde, la ventaja de este tipo de inyector es que pueden aumentar la cantidad de orificios en su tobera y la reducción del diámetro de sus orificios, haciéndolos cada vez más pequeños, mejorando la atomización del combustible (Sánchez, 2009, pág. 27).

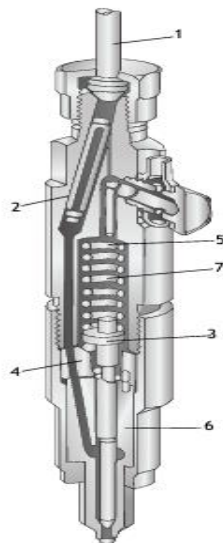


**Figura 2.7** tobera de Inyector tipo Lápis.  
(Sánchez, 2009)

La Figura 2.7 muestra la tobera de un inyector de múltiples orificios, que se diferencia del inyector de un solo orificio, en tamaño y el número de orificios de inyección. Esta tobera puede alcanzar más de 6 orificios en su tobera y se aplican en motores con un sistema de alimentación directa.

## 2.8 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN INYECTOR MECÁNICO.

Un inyector mecánico está conformado por muelles y vástagos actuando como válvulas, permitiendo el paso del combustible cuando la presión alcanzada dentro del cuerpo del inyector supera la resistencia de los muelles, manteniendo al inyector en una posición normalmente cerrada.



**Figura 2.8** Partes Inyector Mecánico.  
(Sánchez, 2009)

La Figura 2.8 muestra las partes internas del inyector según como se numera: 1.- Entrada de Combustible, 2.- Cuerpo, 3.- Perno de presión, 4.- Disco Intermedio, 5.- Arandelas, 6.- Inyector y 7.- Muelle.

Todos los elementos internos tales como las arandelas y muelles son los encargados de mantener la presión del combustible dentro del cuerpo del inyector.

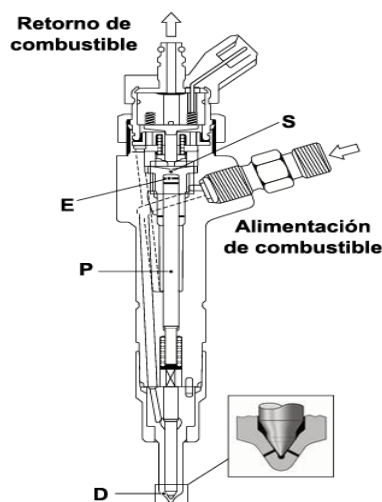
### **2.8.1 FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR MECÁNICO.**

Como se expresó anteriormente el principio de funcionamiento de los inyectores diésel son principalmente determinados por los parámetros Presión – Tiempo; donde, el inicio de la inyección empieza cuando la bomba de alta presión de combustible sea lineal o rotativa, envía la alta presión por la cañería hacia el inyector correspondiente.

Este continua por el cuerpo del inyector hasta llegar a la tobera, en esta existe una cámara de acumulación de presión del combustible entre, el cuerpo de la tobera y la aguja. La presión va aumentando progresivamente según, la cantidad de combustible enviado a ese inyector; esta presión, ejerce una fuerza de empuje a la aguja del inyector hasta poder elevarla, venciendo la fuerza del resorte que la mantiene cerrada, permitiendo así, la atomización del combustible al interior de la cámara de combustión. (Sánchez, 2009, pág. 12).

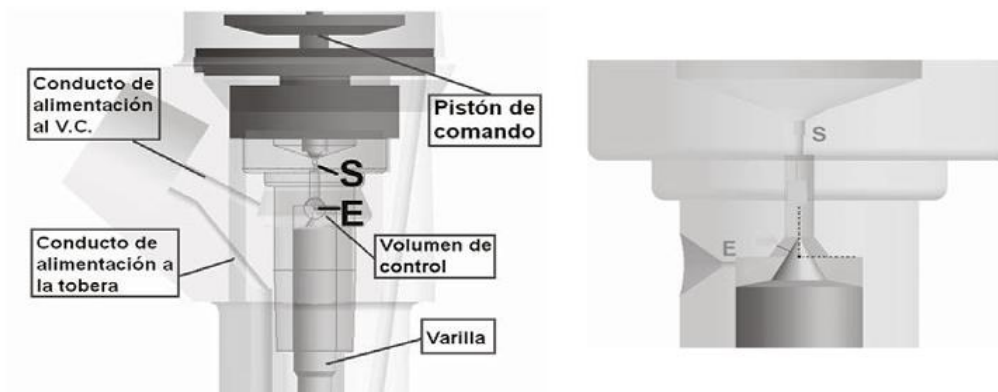
## 2.9 INYECTOR ELECTRÓNICO DIÉSEL.

El elemento más importante y compleja de un motor diésel es el inyector electrónico por sus elementos de accionamiento, es más utilizado en los motores que emplean un sistema de alimentación de riel común y presentan las siguientes características:



**Figura 2.9** Esquema de inyector electrónico riel común.  
(Francisco Payri, 2008)

La Figura 2.9 muestra la tobera con varios orificios y un resorte que presiona la aguja contra su asiento D; Una varilla P, que se desplaza conjuntamente con la aguja de la tobera durante el proceso de inyección; Un orificio E, que suministra el combustible a un volumen de control donde se encuentra la parte superior de la varilla; Un orificio S, de salida del volumen de control, cuya apertura y cierre están controlados por la válvula solenoide.



**Figura 2.10** Volumen de control de un inyector accionado por válvula solenoide.  
(Francisco Payri, 2008)

La Figura 2.10 muestra el control electrónico, para la apertura del inyector, por la activación de una válvula solenoide, controlada por la ECU del motor.

Gracias a los estudios y avances en la tecnología en el campo automotriz, con la llegada del sistema de gestión electrónica los fabricantes han visto la necesidad de implementar a estos vehículos con inyectores con un control de atomización completamente electrónico. Dentro de estos inyectores tenemos los siguientes:

- Inyector Bomba.
- Inyector de solenoide.
- Inyector piezoeléctrico.
- Inyector HEUI.

#### El inyector bomba

Es considerado como electrónico gracias a su válvula solenoide de paso del combustible hacia la cámara de alta presión. Este tipo de inyector funciona por el accionamiento de una leva, que desplaza un pistón empujador generando la presión necesaria para elevar la aguja y realizar la atomización del combustible. La Figura 2.11 muestra un inyector bomba.



Figura 2.11 Inyector Bomba.  
(Bosch, 2017)

### El inyector solenoide

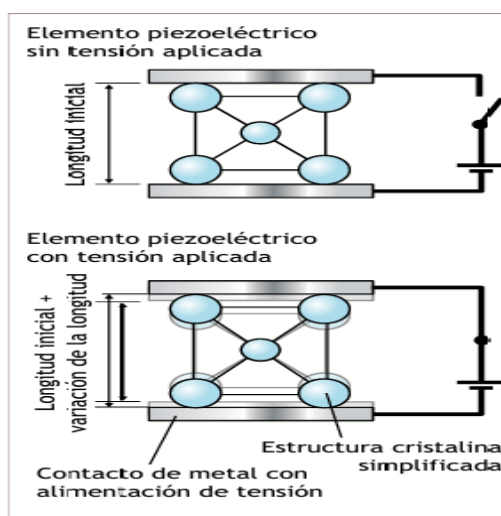
Es aquel que tiene un magneto, el cual abre el inyector desplazando la aguja por medio del campo magnético generado por el paso de una corriente eléctrica por sus bobinas, permitiendo así la salida del combustible. La Figura 2.12 muestra un inyector solenoide.



**Figura 2.12** Inyector electrónico.  
(Bosch, 2017)

### El inyector piezoeléctrico

Este tiene en sus elementos materiales que pueden dilatarse al paso de una corriente eléctrica, controlando la salida del combustible de una manera más precisa posible. La Figura 2.13 muestra el principio de funcionamiento del elemento actuador en el inyector.



**Figura 2.13** Material Piezoeléctrico.  
(Sánchez, 2009)

### El inyector HEUI

Es el inyector más seguro y confiable que hasta el momento se dispone, su funcionamiento es mediante un diafragma, que se acciona por la presión aceite para activar el sistema de inyección en el inyector y entregar la cantidad necesaria de combustible al motor. La Figura 2.14 muestra un inyector HEUI.



**Figura 2.14** Inyector HEUI.  
(Bosch, 2017)

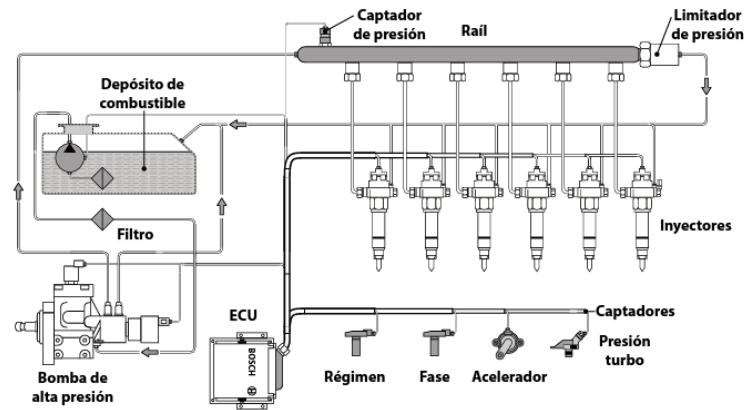
Como se mostró en las anteriormente, existen una amplia variedad de inyectores de accionamiento electrónicos para el uso en motores diésel. Cada uno presenta diferentes características de diseño y funcionamiento acorde a los requerimientos del motor.

#### **2.9.1 FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR ELECTRÓNICO.**

El principio de funcionamiento de los inyectores electrónicos se asemeja en gran parte a los mecánicos, ya que comparten el mismo principio de funcionamiento de Presión – Tiempo. La diferencia radica en que el accionamiento del inyector para la apertura combustible, es controlado electrónicamente por la ECU.

La presión del combustible existente en el rail, es medida por un sensor de presión cuyo valor de la señal es comparado con un valor determinado que es grabado en la ECU del vehículo, entonces si este valor se encuentra en unidades distintas, un orificio de descarga ubicado en el regulador del inyector se abre o se cierra haciendo que el caudal de exceso de combustible sea devuelto al depósito por medio de las cañerías de retorno del sistema de alimentación.. (Francisco Payri, 2008, pág. 34)





**Figura 2.15** Esquema de un sistema de inyección de riel común genérico.  
(Francisco Payri, 2008)

La Figura 2.15 muestra el sistema de inyección del sistema de inyección electrónico diésel en donde se muestra: el depósito, la bomba de alta presión, la ECU, el depósito de combustible, los inyectores, el riel común, algunos sensores y actuadores de presión.

## 2.10 SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL

El sistema de inyección en los motores de ciclo diésel son los principales responsables de la entrega de combustible a la cámara del motor Diésel cumpliendo lo siguiente:

- La entrega de la mezcla aire – combustible en el tiempo exacto dentro de la cámara de combustión según la ley de tasa de inyección, responsable de la actuación correcta en las diferentes etapas de combustión en sincronismo al movimiento alternativo del motor.
- La atomización del combustible haciendo más amplia la superficie de contacto con el aire caliente comprimido en la cámara de combustión.
- La mezcla adecuada del combustible en relación de la cantidad de aire presente en la cámara.

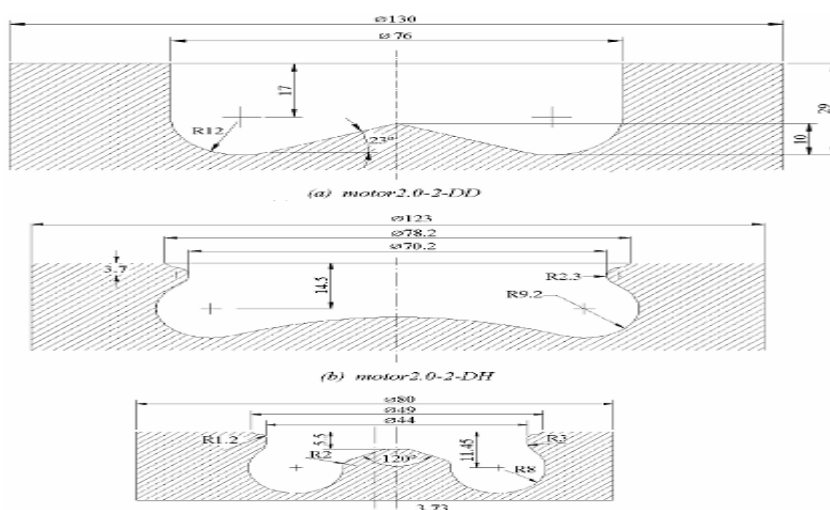
Dentro de los diferentes tipos de alimentación de combustible y de inyección de combustible estos pueden ser de, inyección directa e inyección indirecta.

En los motores que disponen de un sistema de inyección indirecta se encuentra la cámara de combustión que está dividida en: Pre-cámara de inyección y la cámara de combustión.

Generalmente en la carrera de compresión del pistón, el aire es empujado hacia la pre-cámara de inyección, donde el inyector de espiga inyecta el combustible (diésel, por orificios de aproximadamente 1mm) en la pre-cámara de inyección.

Gracias a las elevadas presiones existentes en la pre-cámara y en la cámara de combustión, se presenta el fenómeno turbulento del aire, este nos ayuda a que las partículas del diésel se esparzan, de tal forma que se genere la conocida mezcla de aire combustible. En la inyección indirecta no es tan importante la calidad en la que el chorro diésel es inyectado, ya que estos manejan unas presiones relativamente bajas entre 200 y 400 bares.

En el caso de motores equipados con un sistema de inyección directa poseen un mejor rendimiento que los motores de inyección indirecta, en estos motores la inyección de combustible se lo realiza directamente en la cámara de combustión, esta cámara de combustión se encuentra trazada dentro del pistón, como se muestra en la Figura 2.16, eliminando la pre-cámara labrada en la culata del motor de inyección indirecta. Que al ser eliminada no existen las turbulencias en la cámara de combustión, las mismas que ayudaban a la dispersión del chorro diésel. Eso hace que en el sistema de inyección directa la calidad del chorro es un factor determinante dentro de la combustión del combustible.



**Figura 2.16** Cámara de Combustión motores diésel.  
(Francisco Payri, 2008)

La figura 2.16 muestra el diseño de la cámara de combustión en el pistón, para poder solucionar la falta de las elevadas turbulencias presentes en el sistema de inyección indirecta,

las mismas que serán útiles para homogenizar la mezcla aire- combustible se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El diseño del sistema de admisión de aire al cilindro y de la cámara que esta fresada en el mismo pistón del motor, estos factores permiten que en la admisión del aire se genere un vórtice de aire (swirl), colaborando principalmente a la atomización del diésel en la cámara.
- La calidad de chorro es fundamentalmente importante para la homogenización de la mezcla, haciendo que el diseño del inyector sea más complejo y equipados con toberas de mayor numero de orificios con diámetro mucho menor (de 0,12 y 0,25 mm), presentando un cuerpo más robusto y presiones de trabajo que fácilmente alcanzan los 1 800 bares en los sistemas más actuales.
- El uso de múltiples inyecciones como son las inyecciones piloto que son pequeñas cantidades proporcionadas durante la última parte de la carrera de compresión, elevando la temperatura de la cámara y acelerando el proceso de combustión principal.

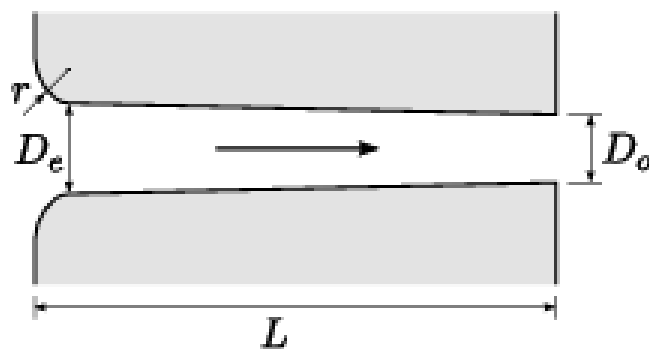
## **2.11 CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE INYECCIÓN DEL COMBUSTIBLE EN MOTORES DIÉSEL.**

Cuando se establece las características del flujo de un fluido en conductos, generalmente se emplea modelos y ecuaciones que tienen como base los principios del régimen laminar o bien el turbulento presente en los conductos internos del inyector diésel. Medido en un determinado número de Reynolds, que es conocido como el numero crítico de Reynolds, este permite verificar el paso del régimen laminar al régimen turbulento.

En las aplicaciones prácticas el valor de Reynolds es aproximadamente de 2 300, donde, se dice, para un numero por debajo de los 2 300, el estado del régimen es laminar; cuando se encuentre por encima de 2 300 hasta por debajo 4 000 quiere decir que se encuentra en un estado laminar y turbulento actuando alternativamente y finalmente si el valor se encuentra en los 4 000 o por encima de este podemos decir que, el régimen es totalmente turbulento. (Gimeno, 2012, pág. 50)

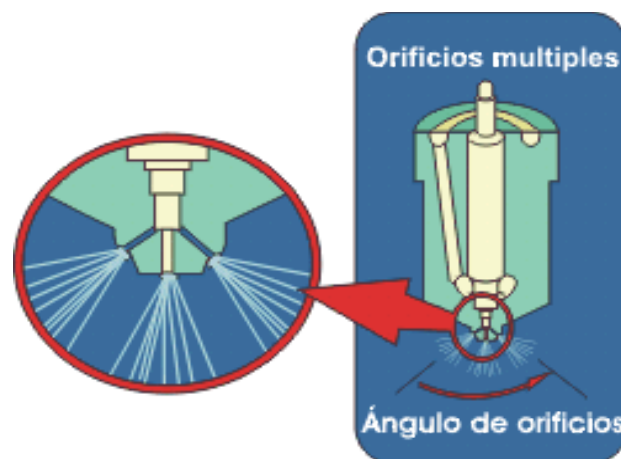
Para los dos casos, laminar o turbulento, se dice que la longitud del orificio de inyección es sumamente menor al orificio de entrada, haciendo que esto no permita al flujo estar totalmente desarrollado, por este motivo hay que tener algunas consideraciones.

- El flujo se ve directamente afectado por los efectos de la entrada al orificio.
- Al encontrarnos con un flujo que no se ha desarrollado, por mantenerse por debajo del régimen laminar y turbulento, este no resultaría valido para el flujo de agujeros de inyección. (Gimeno, 2012, pág. 51)



**Figura 2.17** Parámetros del orificio de inyección.  
(Gimeno, 2012, pág. 51).

La Figura 2.17 muestra la geometría interna teórica de un orificio de inyección, que generalmente se encuentra ubicado en la punta de la tobera, se observa que está compuesta por una longitud ( $L$ ) y una diferencia de diámetros ( $D_o$  y  $D_e$ ) a lo largo de su sección.



**Figura 2.18** Agujeros de toberas diésel.  
(Buitrago, 2008, pág. 5)

La Figura 2.18 muestra una tobera de orificios múltiples, indicando que existe un ángulo entre orificios al momento de atomizar el combustible, con el objetivo de realizar una correcta combustión en el motor.

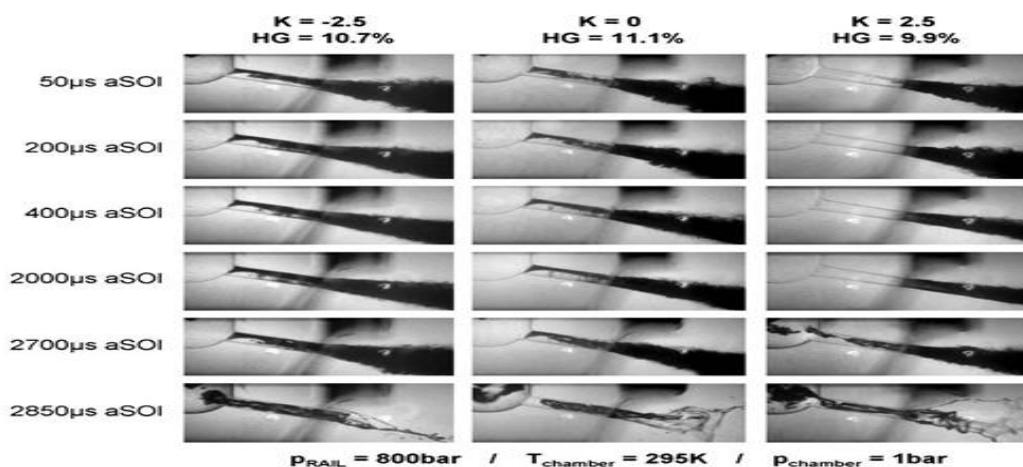
## 2.12 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL CHORRO INYECTADO POR INYECTORES.

Las características del chorro a diésel vienen correspondiendo al régimen por la interacción aerodinámica y primordialmente al régimen de atomización. Se puede afirmar espontáneamente que, la atomización se produce por la superposición de diversos mecanismos.

La ruptura ocasionada por la inestabilidad aerodinámica, ya que el crecimiento de las perturbaciones que, en si son inestables cuando se encuentra en la superficie del chorro esta incrementara su velocidad relativa del líquido y un gas del ambiente.

La turbulencia es una de las principales causas para que se produzca la atomización del combustible en los motores diésel, en especial en el orificio de la tobera de inyección.

La Figura 2.19 muestra el fenómeno de la cavitación dentro del proceso de atomización del combustible en los motores diésel, pueden ser de dos tipos: puede provocar un incremento de la turbulencia en la atomización y la presencia del vapor del combustible presenciado por burbujas, producirán un aumento de la ruptura de la vena liquida siempre y cuando estas colapsen dentro de la vena liquida (Gimeno, 2012, pág. 54).



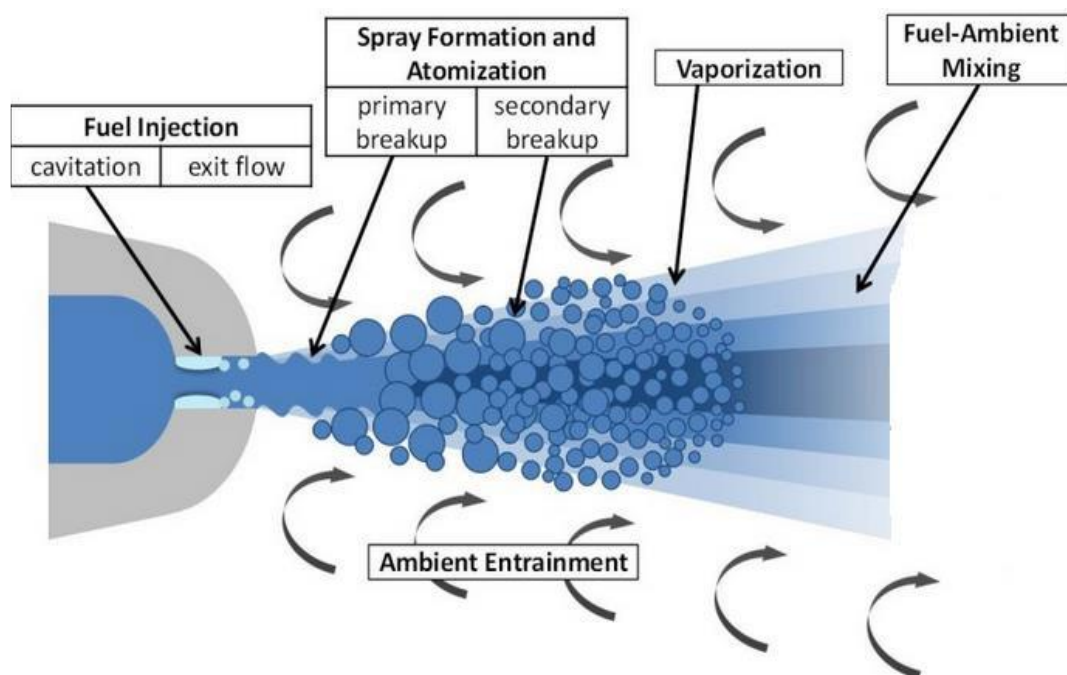
**Figura 2.19** Cavitación en orificios de inyección en tobera.  
(Gimeno, 2012).

Otro parámetro importante es la penetración de combustible, siendo ésta la distancia que va a recorrer el chorro de combustible dentro de la cámara de combustión, este es un parámetro de gran relevancia cuando se estudia los chorros diésel, ya que nos permite establecer en gran parte el proceso de mezcla aire combustible; adjuntando el instante en que el chorro diésel impacta en la pared del cilindro.

### 2.12.1. LA ATOMIZACIÓN DE COMBUSTIBLE

La atomización del combustible en motores diésel, es el factor más importante para que el combustible líquido que estamos inyectando por los orificios de la tobera hacia la cámara de combustión se mezcle con el aire haciendo, que las gotas del combustible en estado líquido se vayan fraccionando en gotas cada vez más diminutas en el proceso de inyección (Pavia, 2015, pág. 32).

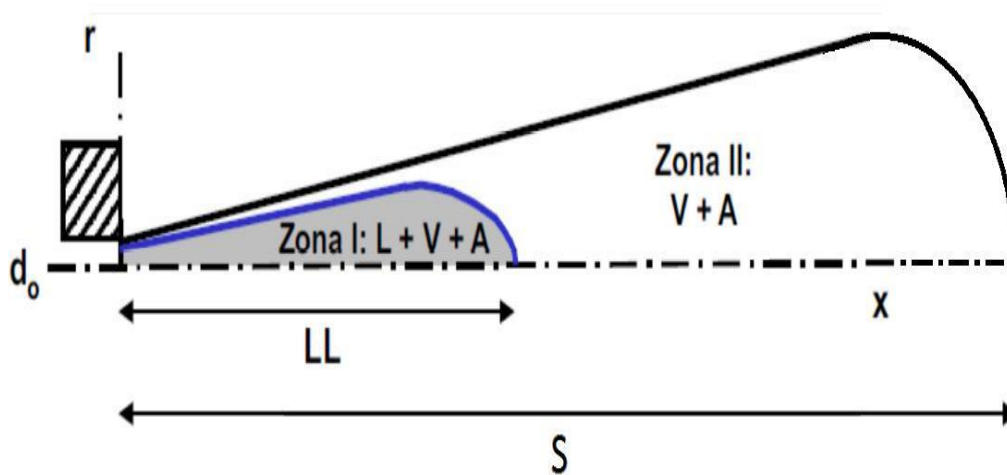
La Figura 2.20 muestra todo el proceso de atomización del combustible iniciando por la parte indicada como (fuel injection), donde, se inicia los fenómenos de la cavitación en la salida del combustible.



**Figura 2.20** Inyección, atomización y evaporación.  
(Pavia, 2015, pág. 61)

En este punto el combustible pasa por un cambio brusco de secciones, por la geometría del orificio de inyección de la tobera haciendo que, la velocidad del combustible se incremente; mientras que, la presión de la cámara en la tobera de inyección vaya decreciendo progresivamente.

Posterior a este proceso tenemos lo que se llama atomización, donde, las gotas del combustible se vuelven cada vez más pequeños y se presenta la vaporización; o en sí, la transformación del combustible líquido en gas.



**Figura 2.21** Penetración de la atomización por fases.

(Pavia, 2015, pág. 68).

Donde:

$d_o$ = diámetro del orificio del inyector.

$LL$ = zona líquida.

$S$ = distancia de penetración.

Zona I= zona de combustible líquido, vapor de combustible y Aire.

Zona II= Vapor del combustible y Aire.

La Figura 2.21 muestra las fases que tiene un chorro de inyección diésel, teniendo la zona I:  $L + V + A$ , que quiere decir el área donde existe el líquido más vapor y aire del ambiente que se puede llamar zona de longitud líquida.

En la siguiente zona encontramos el vapor del combustible que se ha atomizado en conjunto con el aire del ambiente englobado (el aire de la presión ejercida por el pistón en la carrera

de compresión de combustible. Para finalizar tenemos la zona máxima que se trata la de penetración del chorro.

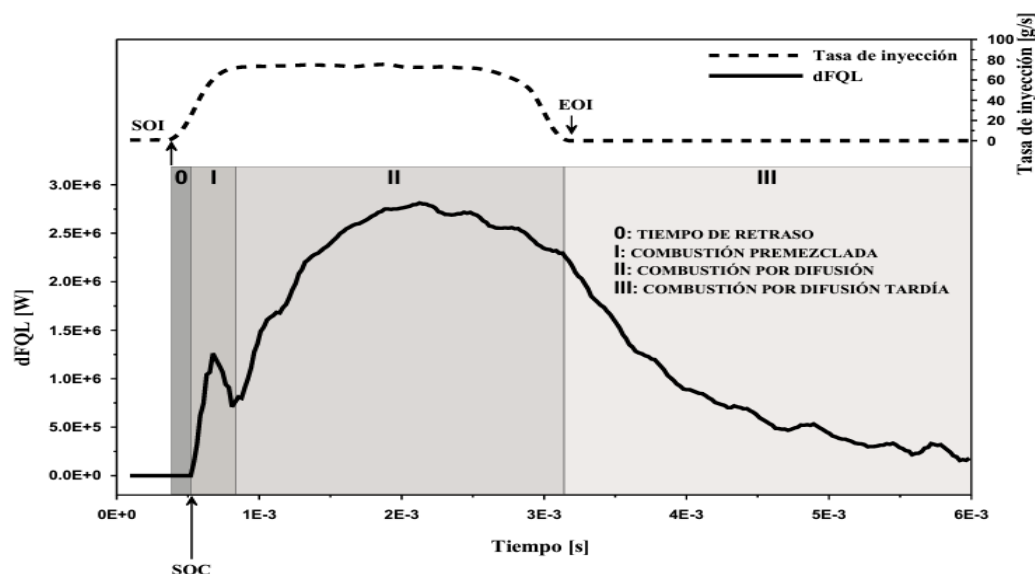
También un aspecto importante a considerar dentro de los parámetros del proceso de inyección es el ángulo del chorro, que es formado en el instante de la salida del combustible.

## 2.13 LA COMBUSTIÓN EN MOTORES DIÉSEL.

La manera más semejante de referir como es el proceso de combustión en los motores Diésel, es la cantidad de combustible inyectado en un tiempo determinado; y su consecuencia es la liberación del poder calorífico en un periodo de tiempo partiendo de la presión de aire existente en el cilindro. (Francisco Payri, 2008, pág. 70)

### 2.13.1 FASES DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN

En el proceso de combustión de motores diésel se encuentra las siguientes fases: fase 0, tiempo de retraso; fase I, combustión premezclada; fase II, combustión por difusión; fase III, combustión por difusión tardía. Los cuales se detallan a continuación:



**Figura 2.22** Diagrama de Tasa de inyección y tasa de liberación de calor de los motores Diésel.

(Francisco Payri, 2008, pág. 79)



La Figura 2.22 muestra la fase 0, es donde empieza el proceso de la inyección y esta culmina cuando inicia el proceso de combustión. En la fase 0 también es mezclado el aire con el combustible para la atomización del combustible en su estado líquido, la evaporación del mismo y el englobamiento del aire.

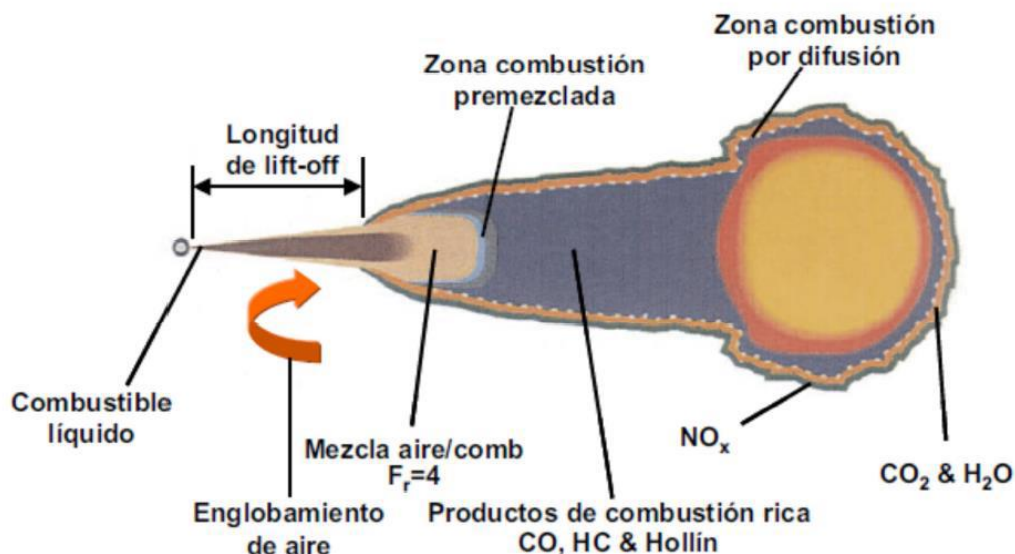
En la Fase I, se aprecia la oxidación del combustible que, ya ha sido mezclado con el aire, haciéndolo que este se mantenga dentro de los límites de inflamabilidad del combustible; siendo esta una etapa de liberación de calor, con un determinado punto máximo y un mínimo, semejante a un perfil triangular. Fijando de esta forma el final de la combustión premezclada. Seguidamente se tiene la fase II, que trata sobre combustión por difusión de combustible que, es controlada por el proceso de mezcla del combustible evaporado con el aire en el interior de la cámara de combustión. Las consideraciones para esta fase, se realiza en condiciones de mezcla estequiométrica en los términos aire- combustible y la distribución de la llama en este estado alcanza un periodo que, se mantiene mientras el inyector está inyectando combustible dentro de la cámara de combustión.

Finalmente, en la fase III, es donde ya culmina el proceso de inyección del combustible (el inyector se cierra, impidiendo el paso de combustible), en esta fase se observa claramente y en forma decreciente la llama liberada en la fase anterior; que es principalmente causada por, el deterioro progresivo de la oxidación de la mezcla aire- combustible (Francisco Payri, 2008, pág. 79).

## **2.14 PROCESO DE COMBUSTIÓN DEL CHORRO DIÉSEL.**

En este proceso se caracteriza por ser el efecto de la atomización del combustible donde, aparecen nuevas zonas que cambia en cierta parte la estructura del chorro, de la siguiente manera:

- La zona denominada lift-off, es donde la atomización se está realizando o se está preparando el combustible en estado líquido a pasar a un estado gaseoso, ya que en esta zona el combustible no se ha mezclado con el aire.
- Seguidamente tenemos la zona de combustión premezclada. Donde, el oxígeno que se ha englobado en el chorro se ha consumido en su totalidad, suponiendo que el nivel de oxígeno en esta zona es completamente insuficiente o nulo. Finalmente se presenta la combustión por difusión que es la quema superficial del combustible.



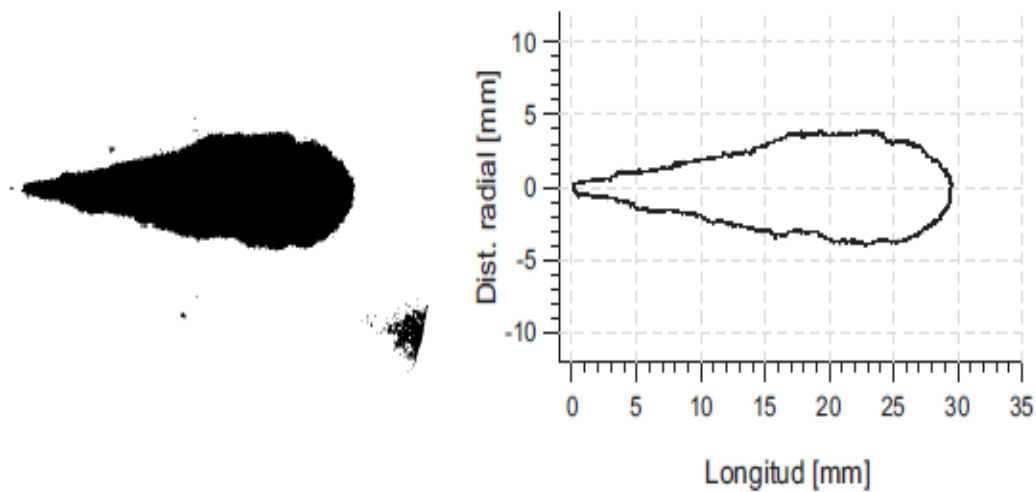
**Figura 2.23** Esquema del proceso de combustión del chorro inyectado.  
(Pavia, 2015).

La Figura 2.23 muestra las diferentes zonas que caracterizan al chorro diésel y se mencionaron anteriormente, además, se observa la formación de los componentes distintivos en el proceso de combustión de un motor diésel.

## 2.15 EL CHORRO DIÉSEL.

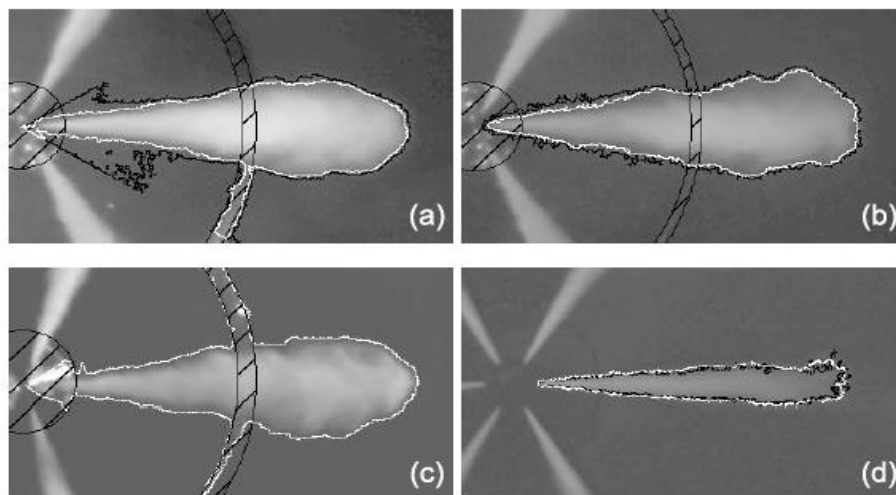
La formación del chorro diésel permite que el combustible pueda penetrar a un ambiente en el cual debe mezclarse con el aire presente en la cámara de combustión y así iniciar con el proceso de combustión. El proceso de la mezcla del combustible y el aire viene caracterizado por factores físicos muy difíciles de calcularlos con exactitud, por esta razón muchas investigaciones se lo han realizado en condiciones atmosféricas y en experimentos muy simples. (Pavia, 2015, pág. 29)

La interacción del chorro diésel viene definida por diversos factores como: los parámetros del combustible en el interior del inyector mismo, con principal énfasis en las dimensiones del orificio de la tobera, la interacción de las partículas del combustible, la coalescencia, la evaporación del combustible, la mezcla con el aire. Todos estos procesos interactúan entre sí, determinando el accionar del chorro diésel.



**Figura 2.24** Segmentación del chorro diésel.  
(Zapata & Pastor, 2010)

La Figura 2.24 muestra el chorro diésel está conformado por una vena líquida que sale a gran velocidad por el diámetro de un orificio de diámetro comprendido entre 0 y 0,5mm. En el momento que la vena interactúa con la atmósfera con una diferente presión y densidad, la vena líquida deja de ser un líquido continuo, pasando a ser atomizado, por el efecto de la fricción entre el combustible a presión y el aire comprimido.



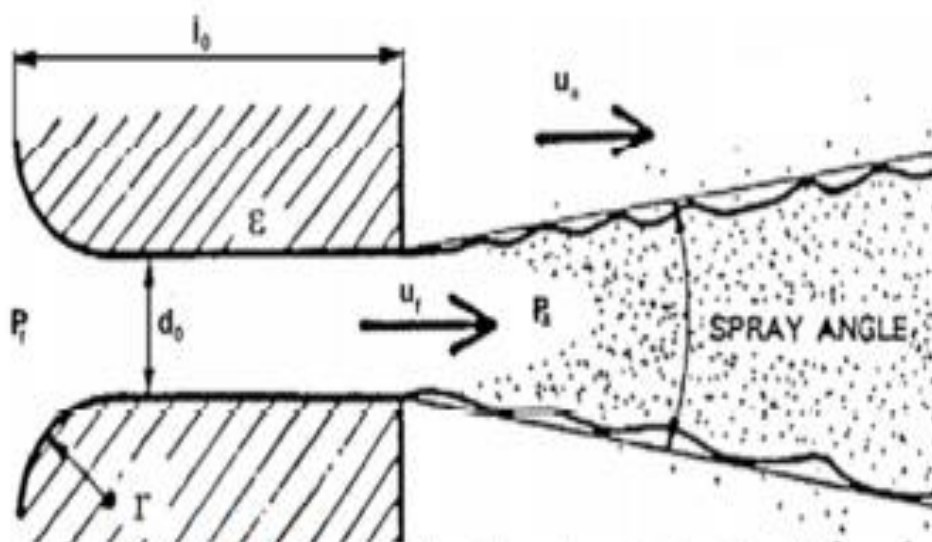
**Figura 2.25** Histogramas del chorro diésel.  
(Zapata & Pastor, 2010).

La Figura 2.25 muestra cuando la vena del chorro diésel en estado líquido, este desaparece en su totalidad y el ambiente del chorro queda compuesto por únicamente diminutas gotas

de combustible y de gas englobado, es este punto se dice que el combustible se ha atomizado en su totalidad en la cámara de combustión.

## 2.16 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ATOMIZACIÓN.

Estudios han demostrado que la atomización del combustible depende de los siguientes factores como se observa en la Figura 2.26 el diámetro de la tobera, la longitud de la tobera, radio de curvatura de entrada, la rugosidad superficial, la presión de vapor, viscosidad, tensión superficial, la densidad del combustible, como del aire. (Pavia, 2015, pág. 28)



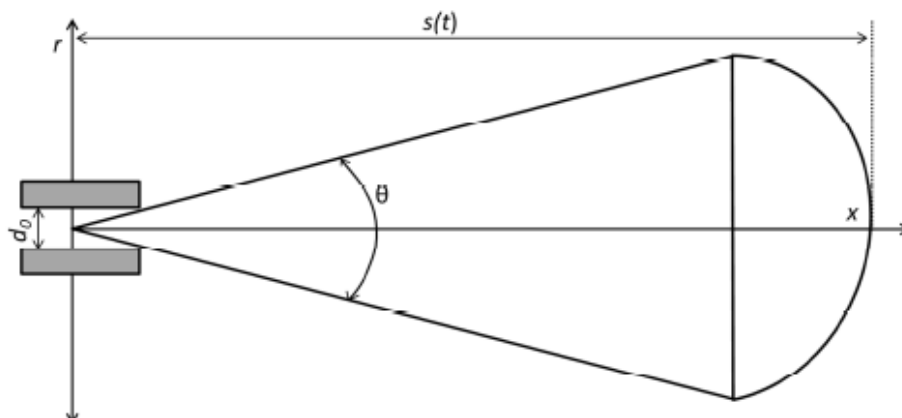
**Figura 2.26** Parámetros de la atomización.  
(Pavia, 2015)

En la Figura 2.26 se observa algunos parámetros que componen la atomización del chorro diésel, luego de la salida del orificio de inyección, el parámetro a estudiar en este trabajo es la del ángulo del chorro que se muestra con el nombre de (Spray Angle).

## 2.17 CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS DEL CHORRO DIÉSEL.

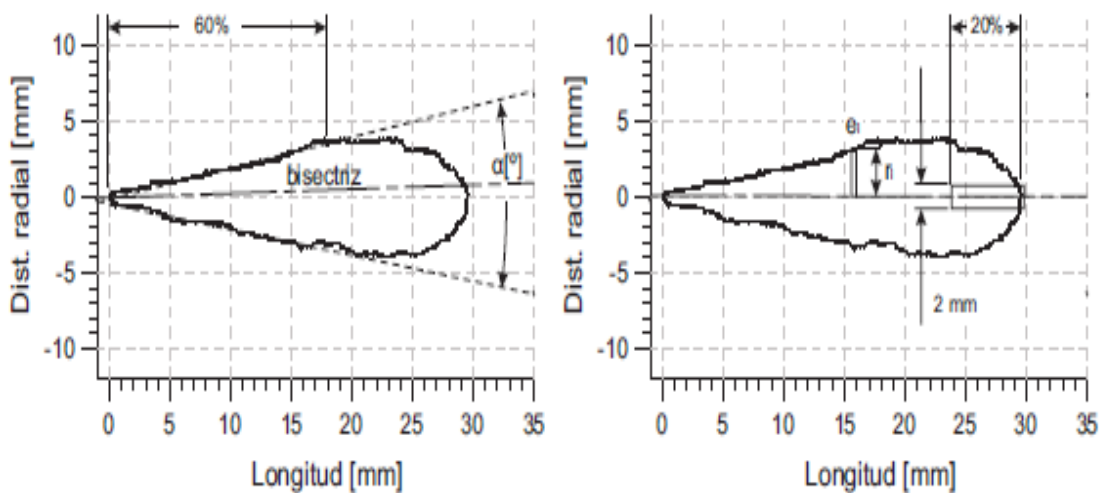
Esta descripción del chorro se refiere a su estructura y su forma externa. El esquema presentado en la Figura 2.27 muestra la estructura simple del chorro diésel que analíticamente corresponde a un cono divergente con un ángulo de apertura, la cual muestra

un frente ovalado y la distancia de penetración de combustible líquido depende de, un tiempo ( $t$ ) de apertura del inyector.



**Figura 2.27** Estructura simplificada del chorro.  
(Pavia, 2015, pág. 18)

En la Figura 2.27 muestra una simetría característica del chorro diésel, pero tenemos que tener en consideración que esté en condiciones reales no es del todo simétrico.



**Figura 2.28** Parámetros geométricos del chorro diésel.  
(Pavia, 2015, pág. 28)

La Figura 2.28 muestra los parámetros geométricos que caracterizan un chorro diésel tales como: la distancia radial en mm su longitud en mm y su ángulo característico. Esta geometría que caracteriza al chorro diésel influye directamente en la combustión de la mezcla aire combustible, afectando el rendimiento del motor y sus emisiones.

## CAPÍTULO III

### 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BIODIÉSEL.

El biodiésel es un combustible de origen vegetal, que en este caso es el aceite proveniente de las semillas de la planta de higuierilla (*Ricinus communis*); donde, para la obtención de mejores resultados, se utiliza aquel que posea una calidad de índole farmacéutico, o que a su vez es más refinado y libre de impurezas. (Karina, 2012, pág. 3)

##### 3.1.1 ACEITE DE HIGUERILLA

Este aceite de higuierilla presenta algunas propiedades físicas como: es viscoso, inodoro, sabor muy desagradable caracterizándolo por su indigestibilidad, se puede disolver con catalizadores (alcoholes) en cualquier proporción y su almacenamiento por largos periodos de tiempo se las debe realizar herméticamente para que no presente ningún riesgo.



**Figura 3.1** Planta de Higuierilla, Aceite de Ricino (Higuierilla).

Este aceite presenta una viscosidad evidentemente alta cuando se trabaja con temperaturas menores de 50 °C, siendo este un factor importante en el proceso de inyección si se trabaja en su estado más puro, otra característica de este aceite puede contener niveles de agua relativamente altos a los otros aceites produciendo oxidación en elementos metálicos en estados de reposo prolongados.

### 3.1.2 HIDRÓXIDO DE SODIO.

Este compuesto químico es más conocido como soda cáustica, la cual tiene un color blanco característico y se lo encuentra en forma sólida (perlada o granulada). Esta tiene la propiedad de absorber la humedad del aire, haciéndolo a este compuesto muy corrosivo.

El uso de este compuesto es principalmente utilizado para romper las cadenas grasas del aceite de higuerilla dentro de la reacción química llamada transesterificación.



**Figura 3.2** Hidróxido de Sodio.

La Figura 3.2 muestra el hidróxido de sodio perlado o granulado que se utilizó para la elaboración del biodiésel.

### 3.1.3 METANOL.

Es el compuesto que se va a combinar con el hidróxido de sodio para obtener el metóxido de sodio el cual nos permitirá hacerla correcta reacción química que nos permitirá realizar el desplazamiento de alcohol a partir de un éster por otro alcohol dentro del proceso de esterificación. La fórmula química de este elemento es  $\text{CH}_3\text{OH}$ .

Este elemento hay que utilizarlo con cuidado, ya que presenta una alta toxicidad si es ingerido, también puede presentar irritaciones si este es inhalado, el metanol es muy utilizado para la elaboración de combustibles para vehículos. (Stratta, 2000, pág. 38)





**Figura 3.3** Metanol 99%.

La Figura 3.3 muestra el metanol al 99 % de pureza que se utilizó en el trabajo, con la finalidad de obtener mejores resultados, con un biodiésel de calidad.

### **3.1.4 REACTOR QUÍMICO.**

El reactor químico en donde se procede a realizar la mezcla entre las materias primas, en el cual se someten a los parámetros de temperatura, presión, caudal. En este se realiza toda la reacción que se necesita para la obtención del biocombustible.



**Figura 3.4** Reactor químico.

La Figura 3.4 muestra al reactor que está constituido de un depósito cónico, con una válvula de descarga en la parte inferior, en la parte superior cuenta con un motor adaptado un eje, este contiene espas, con el propósito de realizar una mezcla optima entre las materias primas.



### 3.2 OBTENCIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE.

En los motores diésel se han realizado pruebas con diferentes tipos de combustibles alternativos, en el caso de los motores diésel se pueden usar directamente aceites vegetales. El principal problema del uso de estos tipos de aceites es que provienen de las plantas que, generalmente contienen impurezas tales como: agua, odorantes, ácidos grasos libres, esteroides entre otras.

En el proceso que se utilizó consta la utilización de los materiales antes mencionados siguiendo los siguientes pasos:

Debemos medir la cantidad exacta de aceite de higuerilla, la cual vamos a procesar, este se realizó con probetas de 1000 mL.

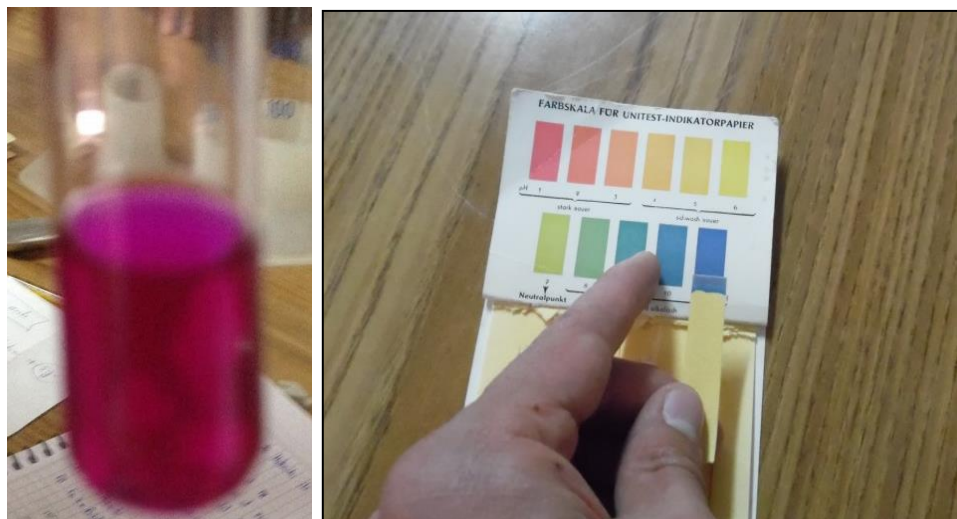


**Figura 3.5** Materiales a Utilizar.

Seguidamente realizamos los cálculos de la mezcla que se va a realizar entre el hidróxido de sodio y el metanol, el mismo que corresponde a por cada 1000 mL de aceite de higuerilla se mezcla, 200 ml de metanol más 5 gr de hidróxido de sodio.

Al definir las cantidades a realizar la transesterificación; vamos a realizar la mezcla entre el metanol y el hidróxido de sodio, la cual es una termo-reacción o reacción generadora de calor, esta mezcla debe ser medida su alcalinidad o su acidez, siendo el pH un valor de once o en su defecto presentar un color azulado intenso como se muestra en la Figura 3.6. Siendo ésta ideal para esta solución.

También se puede comprobar el pH correcto mediante el uso del reactor llamado fenolftaleína, el cual debe tomar un color rosado intenso indicativo que la solución es la adecuada para el proceso.



**Figura 3.6** Pruebas de pH mezcla metóxido de sodio.

Luego de preparada la mezcla se vierte dentro del reactor para, calentarla a una temperatura máxima de 50 a 55 grados centígrados, el mismo tiene un motor acoplado a una bomba de agua, que le permite generar un caudal interno de la mezcla, adicionalmente se adaptó un motor con aspas que haga la función de agitador dentro del reactor, durante un periodo de 2 a 3 horas aproximadamente.



**Figura 3.7** Adaptaciones en el reactor químico.

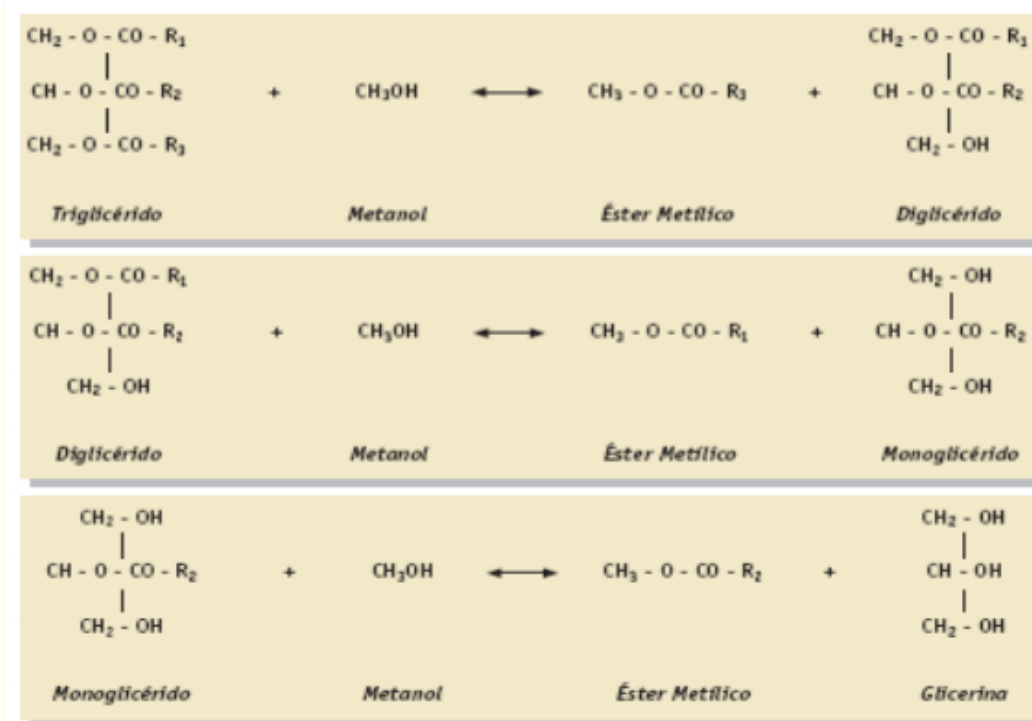
En la Figura 3.7 se observa el mecanismo de agitación, que se lo elaboró con un motor externo de 110 V, y un eje adaptados dos aspas, con el propósito de batir las mezclas haciendo que, ésta sea la más apropiada posible.

A continuación, se muestra la Figura 3.8 indicando el constante control de la temperatura dentro del reactor.



**Figura 3.8** Control de temperatura en el reactor.

Dentro del proceso, es importante verificar que, la temperatura de la mezcla dentro del reactor se mantenga dentro del rango establecido, a su vez, se controla el pH de la mezcla que, al finalizar el proceso de transesterificación tiene que estar en un valor de 9, en la escala de alcalinidad.



**Figura 3.9** Proceso de Transesterificación.  
(Palermo, 2008, pág. 24)

En la Figura 3.9 se observa el proceso de transesterificación que, consiste en una reacción química dentro de un reactor, el mismo que va a convertir un triglicérido en diglicéridos, monoglicéridos y finalmente en glicerina, durante este proceso en cada reacción es liberado una mol de éster metílico.

Terminado el proceso anterior se deja en reposo por el periodo de 12 a 24 horas para poder separar el glicerol del aceite.



**Figura 3.10** Decantación del biodiésel por reposo.

El aceite en este momento el biodiésel se encuentra muy alcalino como resultado de la reacción química en el proceso dentro del reactor, es por ese motivo que se debe proceder al lavado de la mezcla.

Para el lavado se utilizó 5 litros de agua para cada 20 litros de mezcla procesada se muestra en la Figura 3.11, esto permitirá tener una separación de la glicerina del biodiésel y mantener un Ph neutro, para el uso de motores de combustión interna.



**Figura 3.11** Lavado del biodiésel con agua.

### 3.3 CERTIFICACIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE

La importancia de certificar del combustible como del Diésel y del biodiésel, es garantizar un producto de calidad, permitiéndonos recolectar una información más acertada y necesaria para un proyecto de investigación. Para obtener resultados confiables se certificó el biocombustible procesado, en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, el cual muestra los siguientes resultados:

**Tabla 3.1** Análisis fisicoquímico del biodiésel a base de higuera mezcla B10.

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODOS	DATO MEDIDO
DENSIDAD API A 60°F	°API	PNE/DPEC/ ASTM D-287	34,0
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	PNE/DPEC/P/ ASTM D-92 PNE/DPEC/P/ ASTM D-93	72,1
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)	%V	ASTM D-1007	0,05
AGUA POR DESTILACIÓN	%V	ASTM D-95	0,050
CENIZAS	%P	ASTM D-482	0,0080
VISCOSIDAD CINÉTICA A 40°C	cSt	PNE/DPEC/P/ ASTM D-445	4,21
AZUFRE	%P	PNE/DPEC/P/M104 REF ASTM D-4294	0,0148
RESIDUO CARBONOSO SOBRE 10% DE RESIDUO DE DESTILACIÓN ASTM D-86	%P	ASTM D-189	0,13
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE CU	UNIDAD DE CORROSIÓN	PNE/DPEC/P/ ASTM D-130	1b
INDICE DE CETANO CALCULADO		PNE/DPEC/P/ ASTM D-287	51
SODIO	mg/kg	MÉTODO INTERNO REF. ASTM D-5056/APHA 3111B	28,418
POTACIO	mg/kg	MÉTODO INTERNO REF. ASTM D-5056/APHA 3111B	7,268
CALCIO	mg/kg	MÉTODO INTERNO REF. ASTM D-5056/APHA 3111B	4 127,586
MAGNESIO	mg/kg	MÉTODO INTERNO REF. ASTM D-5056/APHA 3111B	10,268
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90%	°C	ASTM D-86	350,7

La Tabla 3.1 muestra los parámetros importantes que influyen en el proceso de inyección tales como: la viscosidad, la densidad y el punto de inflamación.

Estos parámetros son factores importantes dentro del proceso de inyección del combustible, haciendo que la combustión sea optima, por tal motivo si uno de estos parámetros se altera, pueden presentar diferentes comportamientos del motor.

**Tabla 3.2 Biodiésel vs diésel.**

Propiedades	Biodiésel	Diésel	Resultados biodiésel B10
NORMAS DEL COMBUSTIBLE	ASTM D975	ASTM PS 121	VARIOS
COMPOSICIÓN	C12- C22	C10-C-21	-
METILÉSTER	95,5%>98%	-	-
CARBONO (%peso)	77	86,5	-
AGUA (%peso)	0,05 MAX	161	0,050 % V
AZUFRE (%peso)			0,0148
OXÍGENO (%peso)	11	0	-
HIDRÓGENO (%peso)	12	13	-
N° CETANO	48 – 55	40 – 55	51
PCI (kj/kg)	37,7	41,86	-
VISCOSIDAD CENEM. (40°C)	1,9 – 6,0	1,3 - 4,1	4,21 cSt
PUNTO DE INFLAMACIÓN	100 – 170	60 – 80	72,1
PUNTO DE EBULLICIÓN(°C)	182 – 338	188 – 343	-
GRAV. ESPECÍF. (Kg/l A 60°F)	0,88	0,85	-
RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE	13,8	15	-

Fuente: (Torres, 2008)

La Tabla 3.2 muestra una comparación general entre el diésel, el biodiésel generalizado y el biodiésel obtenido, en la certificación del combustible elaborado dentro del proyecto.

También se muestra los resultados que, pertenecen a una mezcla B10, correspondiente a 90% de diésel fósil y 10 % de biodiésel elaborado. En este caso podemos identificar que algunos parámetros están dentro de los establecidos por normas internacionales.

### 3.4 PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA.

En esta prueba de torque y potencia se va a implementar la utilización de la norma SAE J1349, esta es una norma la cual establece el método de recolección de resultados de una forma repetitiva, para que los resultados del rendimiento del motor sea lo más exacto posible. Esta norma se refiere a un proceso real de pruebas en el dinamómetro que mostrara resultados de los esfuerzos de torsión en un vehículo a plena marcha, estas mediciones se van a realizar en intervalos de 500 rpm iniciando desde el punto más bajo de aceleración hasta el máximo recomendado para este tipo de prueba. (SAE, 2004)

Estas pruebas se los va a realizar en el dinamómetro, al vehículo con las siguientes características:



Ficha de especificaciones	
<b>Versión:</b>	2.5 CRDi EXII
<b>Combustible:</b>	Diésel
<b>Potencia Máxima:</b>	170 Cv a 3800 rpm
<b>Par Máximo:</b>	392 Nm a 2000 rpm
<b>Nº de cilindros:</b>	4 en línea
<b>Cilindrada:</b>	2497 cc
<b>Distribución:</b>	Doble árbol de levas en cabeza (DOHC)
<b>Alimentación:</b>	Diesel "Common rail"
<b>Tracción:</b>	4x4
<b>Caja de cambios:</b>	Caja automática secuencial
<b>Capacidad del depósito:</b>	80 litros
<b>Aceleración (0-100km/h):</b>	7,3 segundos
<b>Velocidad Máxima:</b>	182 km/h
<b>Consumo Urbano:</b>	11,0 l/100km
<b>Consumo extraurbano:</b>	7,3 l/100km
<b>Consumo Medio:</b>	8,6 l/100km
<b>Emisiones Co2:</b>	228 gr/km

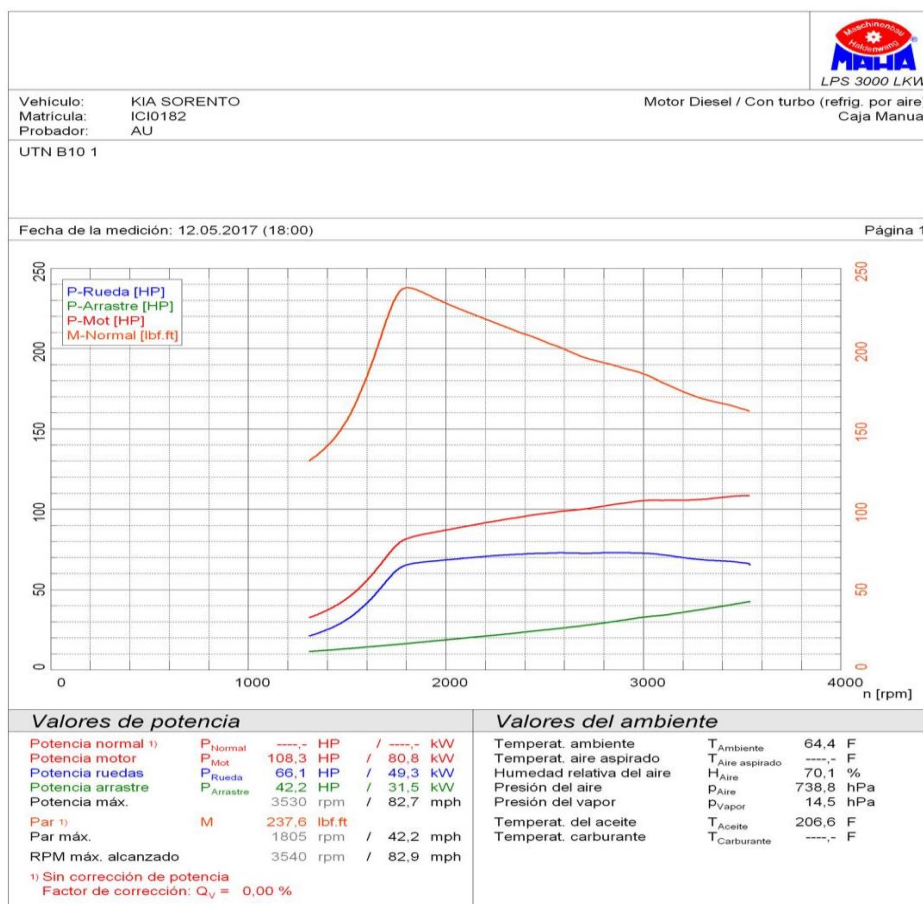
**Figura 3.12** Vehículo de prueba kia sorento diésel

Fuente: (KIA, 2012, pág. 2)

Para el proceso de medición de torque y potencia del vehículo con el uso de combustible fósil y el biodiésel con una composición B10, se procede a ubicar al vehículo con las características indicadas en la Figura 3.12 en el dinamómetro, seguido se procede al anclaje del vehículo como establece las normas de seguridad del laboratorio para evitar cualquier tipo de accidente.

En este proceso el dinamómetro se encuentra calibrado con la norma SAE J1349. se realizarán las pruebas con los dos tipos de combustibles para este caso el diésel y el biodiésel B10, se van a tomar cinco muestras con diferentes datos para realizar la tabulación y obtener un resultado más fiable.





**Figura 3.13** Resultados Pruebas Par Potencia.

Dentro de las pruebas de torque y potencia tenemos algunos factores que influyen directamente en los resultados tales como: la humedad del aire, la temperatura del diésel, la temperatura del aire que ingresa al motor y la presión atmosférica.

La Figura 3.13 muestra los resultados luego de la prueba del vehículo en el dinamómetro, esta presenta las curvas del par motor y la potencia del motor.

### 3.5 EL DIÉSEL Y LAS MEZCLAS B5 Y B10.

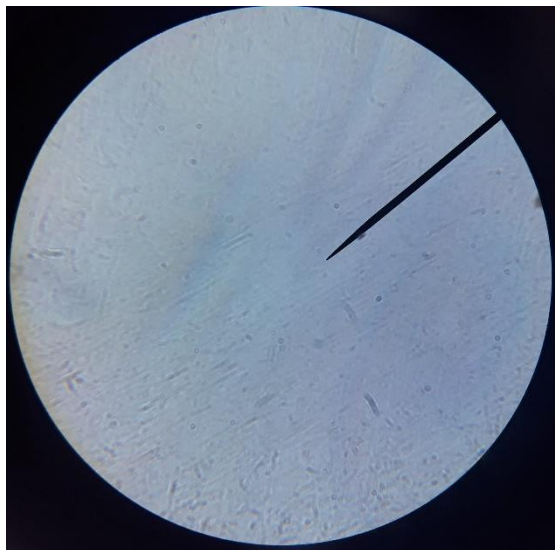
El diésel es un combustible biológico que ha sido fosilizado durante un periodo de millones años, en el trabajo de investigación se utilizó diésel premium por sus características de ser el gasoil, características óptimas dentro del país.

Este diésel es encontrado en cualquier gasolinera del país.



### 3.5.1 DIÉSEL.

El diésel es el combustible de biológico que ha sido fosilizado durante un periodo de millones de años, en el trabajo de investigación se utilizó diésel premium por sus características de ser el gasoil más puro dentro del país.



**Figura 3.14** Vista microscópica del diésel premium.

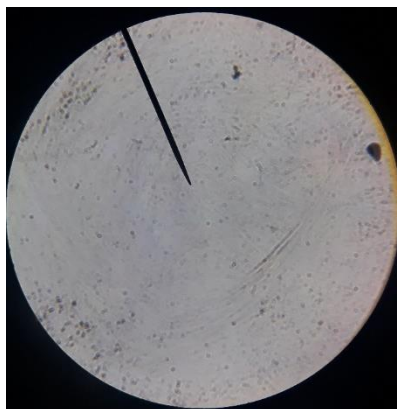
En la figura 3.14, muestra la vista microscópica del aceite mostrando un nivel bajo de impurezas en su estructura física, para observar claramente en el microscopio, se combina un compuesto llamado hematoxilina con, la muestra a observar y esta tiene la propiedad de proporcionarle un tinte negro a compuestos biológicos de la muestra; en consecuencia, se puede observar los residuos biológicos del diésel que es producto del refinamiento del petróleo y es la descomposición de materia orgánica en periodos de tiempo muy prolongados.

### 3.5.2 MEZCLA B5.

Esta mezcla corresponde a la combinación del diésel con el biocombustible elaborado en el trabajo, la composición corresponde, un 95% de diésel fósil y un 5% de B100 esto quiere decir que en 1000mL de biodiesel, a una mezcla B5 se tiene 950mL de diésel y 50mL de B100.

De igual forma se observó en el microscopio la mezcla del combustible a una mezcla B5, con el propósito de, determinar si su estructura ha sido modificada de alguna forma al realizar esta mezcla.

A continuación, se muestra la vista microscópica del biodiésel a una mezcla B5.

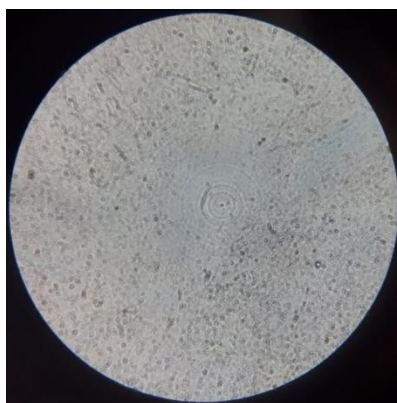


**Figura 3.15** Vista microscópica del biodiesel mezcla B5.

En la Figura 3.15, se aprecia el aumento de residuos orgánicos, debido a la mezcla del diésel con el biodiésel en la composición antes mencionada, siendo muy notoria el cambio de su estructura física.

### 3.5.3. MEZCLA B10.

Esta mezcla es la combinación del diésel con el biocombustible elaborado en el trabajo, la composición corresponde, un 90% de diésel fósil y un 10% de B100 esto quiere decir que en 1000mL de biodiesel a una mezcla B10 tenemos 900mL de diésel y 100mL de B100.



**Figura 3.16** Vista microscópica de la mezcla B10.

En la Figura 3.16, se muestra el aumento notable de residuos orgánicos, debido a la mezcla del diésel con el biodiésel en la composición antes mencionada, siendo muy notoria el cambio de su estructura física.

Este cambio en su estructura física se relaciona con el cambio de propiedades fisicoquímicas mostradas en la Tabla 3.2, determinando así el cambio de la viscosidad y la densidad de los mismos factores que principalmente van a causar efectos en el proceso de inyección del combustible dentro del motor.

### 3.6 ESQUEMA INTERNO DEL INYECTOR MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DIÉSEL

Para una mejor apreciación de los elementos constituyentes de un inyector mecánico se procede a realizar un corte al inyector, con el fin de observar su diagrama interno y así, poder determinar algunos puntos donde se pueden generar residuos con el uso prolongado de los biocombustibles. Este proceso se realizó a los dos tipos de inyectores para, apreciar de su diseño interno, sus partes internas; determinando y analizando, como es el funcionamiento real de estos elementos. Además, se puede deducir las partes que pueden desgastarse u obstruirse, al momento de utilizar combustibles alternativos.

A continuación, se presenta un inyector mecánico y un inyector electrónico, después de haber realizado un corte a su estructura.

- Inyector Mecánico



**Figura 3.17** Corte del inyector mecánico diésel.

Como podemos apreciar en la figura 3.17, la entrada del combustible se encuentra en la parte superior del inyector; el combustible llega a la tobera de inyección mediante el conducto

claramente definido a la presión del combustible necesaria para la apertura de la aguja de la tobera de inyección, luego que el combustible es atomizado el excedente del mismo retorna por la aguja hacia los conductos de retorno.

- Inyector Electrónico Diésel



**Figura 3.18** Inyector electrónico diésel.

Como podemos apreciar en la figura 3.18, la entrada del combustible se encuentra en la parte superior del inyector; el combustible llega a la tobera de inyección mediante el conducto claramente definido a la presión del combustible necesaria para la apertura de la aguja de la tobera de inyección, luego que el combustible es atomizado el excedente del mismo retorna por la aguja hacia los conductos de retorno.

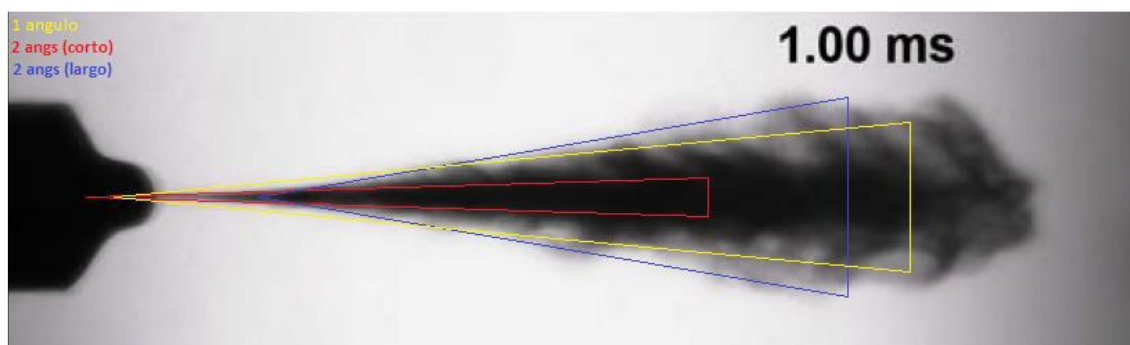
### **3.7 PRUEBAS DE TRABAJO DE INYECTORES EN EL LABORATORIO.**

Estas pruebas están enfocadas en la verificación del comportamiento de los inyectores, mediante la recolección de datos, obtenidos mediante ensayos de laboratorio, en el presente trabajo se realizó ensayos de para determinar la calidad del chorro diésel en el motor.

Al realizar estos ensayos se pretende definir cuál es el comportamiento de la atomización al usar biodiésel con mezclas B5 y B10.

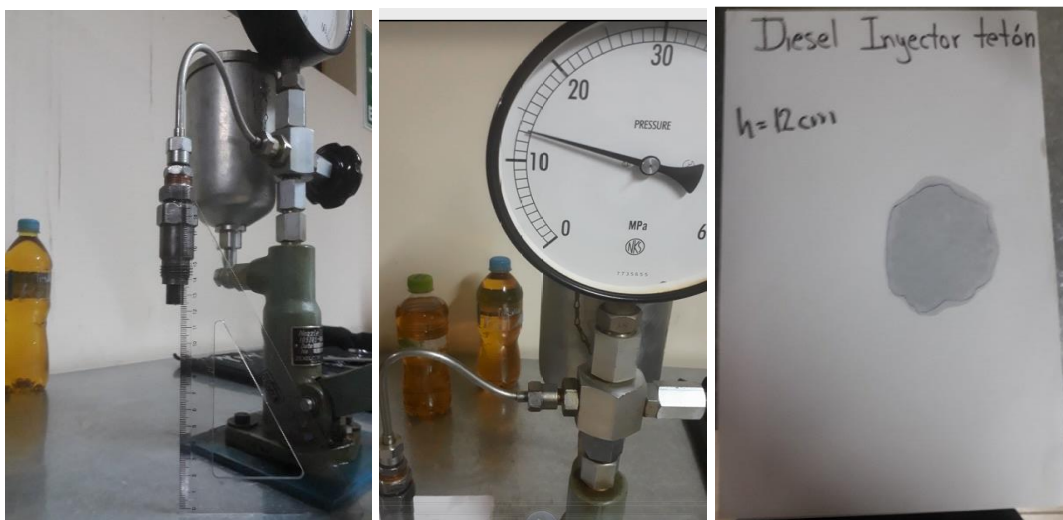
### 3.7.1 CHORRO DIÉSEL INYECTOR MECÁNICO.

Para realizar este estudio se procede a colocar el diésel en el conjunto probador de inyectores mecánicos, se procede a alinearlo perpendicularmente a la mesa de trabajo donde, se colocará una hoja, que es donde se va a plasmar la cantidad de combustible inyectado, donde podemos observar y graficar al momento de inyección la penetración del chorro y su atomización gradualmente, este proceso se repitió con las mezclas B5 y B10.



**Figura 3.19** Ángulo de chorro diésel.  
(García, 2006, pág. pag38).

La Figura 3.19 muestra los ángulos que pueden encontrarse en un chorro diésel. Donde, un factor muy importante es, considerar que la presión turbulenta existente en la cámara de compresión, tiene una influencia en los parámetros de inyección para una característica de chorro reactiva, es que todas las pruebas se lo realizan a una presión atmosférica, o presión nula de compresión.



**Figura 3.20** Pruebas con inyectores mecánicos.

La Figura 3.20 muestra el proceso de medición se lo realizó, promediando diámetros, que se ha impreso en la hoja cuando el inyector se accionó, obteniendo de esta manera una distancia de diámetro circunferencial, para el cálculo del ángulo de chorro se tomo la altura del inyector de 12 centímetros. Este experimento se lo realizó para analizar la existencia de variaciones en el proceso de inyección al uso de biocombustibles.

### 3.7.2 CHORRO DIÉSEL INYECTOR ELECTRÓNICO.

El inyector electrónico usado en el análisis es de tipo lápiz con accionamiento electrónico por electro bobina, el principio de funcionamiento de este tipo de inyector es muy similar al inyector mecánico, teniendo diferencias en el control de apertura, que es determinada por la ECU según los requerimientos del motor.



**Figura 3.21** Pruebas con Inyector electrónico.

La obtención de datos correspondientes a los inyectores electrónicos se pudo realizar con la ayuda de un módulo para inyectores diésel conocido como tester, este equipo nos permite controlar mediante pulsos eléctricos la apertura del inyector.

El inyector se instaló en el comprobador de inyectores diésel Bosch, que nos permite generar la presión necesaria para la apertura de este tipo de inyectores.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

#### 4.1 COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL AL USO DE DIÉSEL CONVENCIONAL, BIODIÉSEL CON MEZCLAS B10.

En el presente capítulo se muestran todos los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas con el motor del vehículo kia Sorento, que fue sometido a recolección de los datos, además, se tabulo los datos de para este tipo de pruebas se lo pretende realizar según el siguiente orden.

Este análisis se lo realiza luego de realizadas las pruebas de campo en el dinamómetro, se realizó con la finalidad de determinar el rendimiento de un motor con el diésel convencional, el biodiésel con mezcla B5 y Biodiésel con mezcla B10 obteniendo los siguientes resultados.

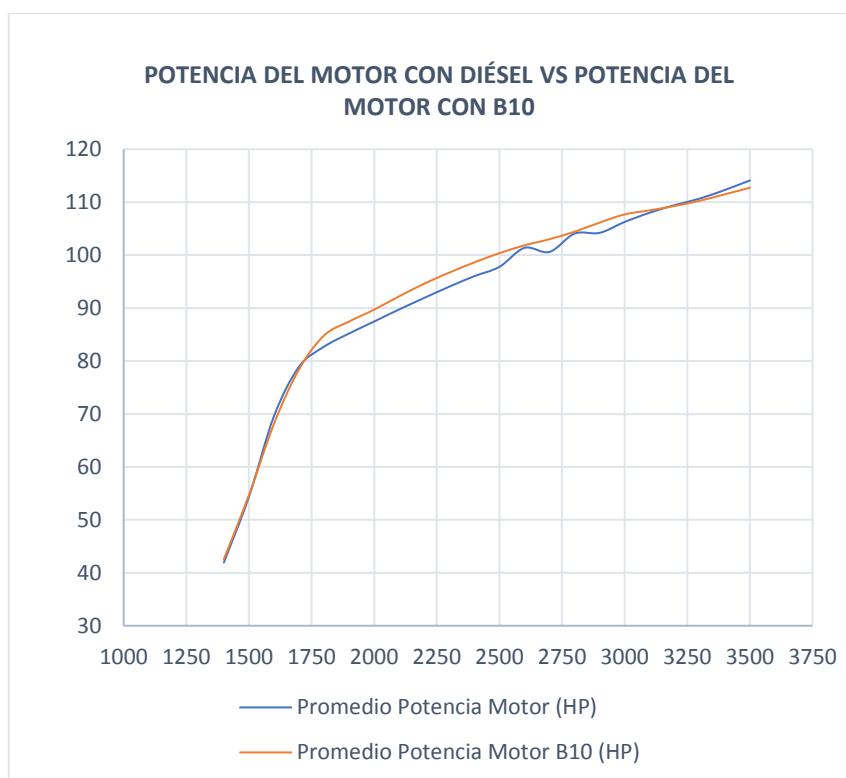
##### 4.1.1 POTENCIA DIÉSEL VS POTENCIA B10

Para realizar una correcta comparación entre la potencia que se obtiene en el motor cuando trabaja con diésel o con el biodiésel (B10), se crea una tabla la cual permite comparar la potencia de acuerdo con las rpm a las que se encuentra el motor.

**Tabla 4.1** Potencia Diésel vs Biodiésel B10.

<b>RPM</b>	<b>Promedio Potencia Motor (HP)</b>	<b>Promedio Potencia Motor B10 (HP)</b>	<b>RPM</b>	<b>Promedio Potencia Motor (HP)</b>	<b>Promedio Potencia Motor B10 (HP)</b>
<b>1 400</b>	41,94	42,58	<b>2 500</b>	97,78	100,36
<b>1 500</b>	54,34	54,64	<b>2 600</b>	101,36	101,84
<b>1 600</b>	69,58	68,14	<b>2 700</b>	100,6	103
<b>1 700</b>	78,92	78,42	<b>2 800</b>	104,06	104,42
<b>1 800</b>	82,7	84,82	<b>2 900</b>	104,2	106,14
<b>1 900</b>	85,2	87,46	<b>3 000</b>	106,26	107,68
<b>2 000</b>	87,46	89,7	<b>3 100</b>	108	108,46
<b>2 100</b>	89,74	92,22	<b>3 200</b>	109,44	109,28
<b>2 200</b>	91,92	94,6	<b>3 300</b>	110,68	110,26
<b>2 300</b>	94,04	96,7	<b>3 400</b>	112,3	111,48
<b>2 400</b>	96,02	98,62	<b>3 500</b>	114,1	112,72

La Tabla 4.1 muestra la potencia del diésel con una mezcla B10, la que presenta un aumento similar de potencia entre las 1 400 y 1 700 rpm, al seguir el aumento de las rpm nos muestra un incremento de potencia al uso del biodiésel a una mezcla B10 en comparación al mostrado por el diésel. Este incremento de potencia está comprendido entre las 1 700rpm y las 3 300rpm para finalmente empezar su decrecimiento a los 3 500 rpm.



**Figura 4.1** Potencia motor usando Diésel y Biodiésel.

La Figura 4.1 muestra dos curvas que representan, la potencia generada por el diésel y la potencia generada por el biodiésel con mezcla B10; permitiendo observar cual es la variación potencia a cada régimen de motor. Como muestra la figura no presenta variación notoria desde las 1 400 rpm hasta las 1 700 rpm, pero a partir de las 1 700 rpm el biodiésel (B10) presenta un incremento del 2 % en la potencia generada, hasta que se llega a equipararse con el diésel a las 3 200 rpm. A partir de las 3 200 rpm el diésel presenta un incremento de un 1% a comparación del biocombustible hasta llegar al pico máximo que son las 3 500rpm presentando una variación porcentual de 1,21 % ante el biodiésel.



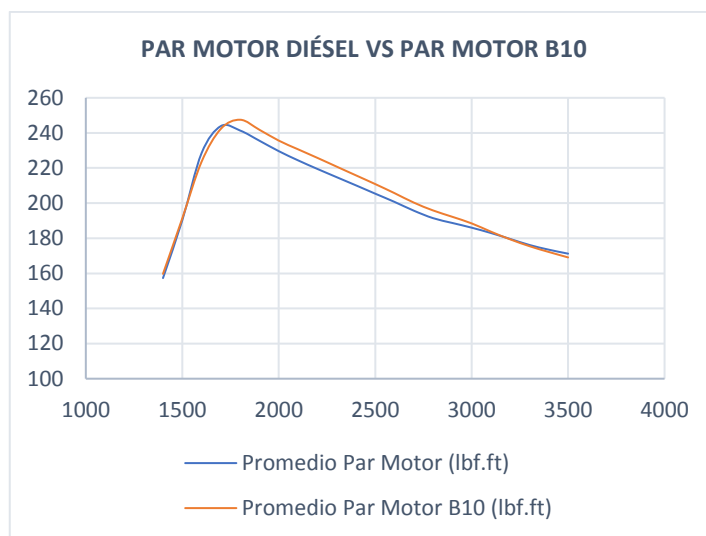
#### 4.1.2 PAR MOTOR CON DIÉSEL VS PAR MOTOR B10

Realizando una comparación entre el torque que genera el motor cuando trabaja con diésel o con el biodiésel (B10), se realiza una tabla la cual permite comparar el torque de acuerdo con las rpm que tiene el motor al momento que trabaja con cada combustible de prueba.

**Tabla 4.2** Par Motor diésel vs Biodiésel B10.

<b>RPM</b>	<b>Promedio Par Motor (lbf. ft)</b>	<b>Promedio Par Motor B10 (lbf. ft)</b>	<b>RPM</b>	<b>Promedio Par Motor (lbf. ft)</b>	<b>Promedio Par Motor B10 (lbf. ft)</b>
<b>1 400</b>	157,32	159,72	<b>2 500</b>	205,4	210,86
<b>1 500</b>	190,22	191,32	<b>2 600</b>	200,72	205,7
<b>1 600</b>	228,48	223,56	<b>2 700</b>	195,72	200,32
<b>1 700</b>	243,9	242,32	<b>2 800</b>	191,44	195,84
<b>1 800</b>	241,34	247,5	<b>2 900</b>	188,7	192,2
<b>1 900</b>	235,54	241,78	<b>3 000</b>	186,02	188,46
<b>2 000</b>	229,62	235,62	<b>3 100</b>	182,98	183,74
<b>2 100</b>	224,38	230,66	<b>3 200</b>	179,6	179,36
<b>2 200</b>	219,5	225,8	<b>3 300</b>	176,16	175,48
<b>2 300</b>	214,8	220,8	<b>3 400</b>	173,48	172,18
<b>2 400</b>	210,14	215,84	<b>3 500</b>	171,22	169,08

La Tabla 4.2 muestra el par motor del diésel con una mezcla B10, esta nos muestra un incremento similar de potencia entre las 1 400 y 1 700 rpm, al seguir el aumento de las rpm, muestra un incremento de par motor al uso del biodiésel a una mezcla B10 en comparación al mostrado por el diésel. Este incremento de par motor está comprendido entre las 1 700rpm y las 3 200rpm para finalmente empezar su decrecimiento a los 3 500 rpm.



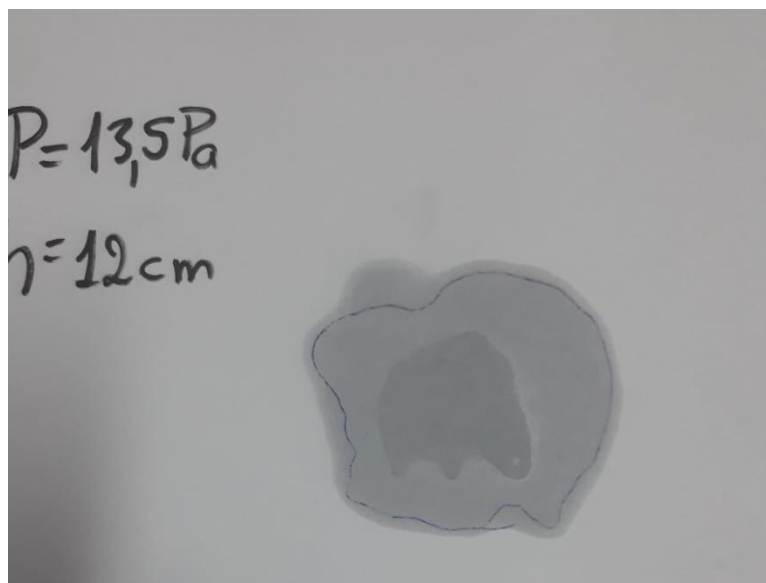
**Figura 4.2** Par motor Diésel vs Biodiésel B10

La Figura 4.2 muestra dos líneas que representan el torque generado por el diésel y el torque generado por el biodiésel (B10); permitiendo analizar cuál es la variación del torque a cada régimen del motor. Como muestra la figura no presentan variación notoria desde las 1 400 rpm hasta las 1 700 rpm, pero a partir de las 1 700 rpm el biodiésel (B10) presenta un incremento porcentual del 2.5 % ante el comportamiento del diésel. A las 3 200 rpm el torque que produce cada uno de los combustibles son similares, desde este régimen el diésel presenta una mejor respuesta ante el biocombustible hasta llegar al pico máximo que son las 3 500 rpm presentando una variación porcentual de 1,21 % ante el biodiésel.

#### **4.2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INYECTORES MECÁNICOS, AL USO DEL BIOCOMBUSTIBLE.**

Para poder observar la cantidad de volumen de combustible inyectado se colocó el inyector de tetón el cual presenta un solo orificio de inyección en la tobera, se instaló el inyector en el probador de presión de inyectores diésel a una altura de 12 cm, para accionarlo y que el chorro sea reflejado en una hoja de papel. Donde, se pueda medir su diámetro aproximado y definir un volumen de combustible inyectado.

Este proceso se realizó en base a 5 muestras con cada uno de los combustibles mezclados, obteniendo como resultado lo siguiente.



**Figura 4.3** Chorro diésel.

La Figura 4.3 muestra la cantidad de combustible expulsado del inyector a una presión de 13,5 MPa y una altura de 12 cm. Este experimento permite ver cómo está constituido el perfil de un chorro diésel luego de los orificios del inyector.

#### 4.2.1 ÁNGULO DEL CHORRO CALCULADO AL USO DE DIÉSEL.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores, cuando este trabaja con diésel, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 4.3 muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

**Tabla 4.3** Resultados de ángulo de chorro usando diésel.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen cono (cm <sup>3</sup> )	DIAMETRO cm	Ángulo del cono (°)
Diésel	12	13,3	47,12	7,5	82,67
	12	13,1	43,98	7	75,62
	12	12,9	43,35	6,9	74,26
	12	13	45,86	7,3	79,80
	12	13,1	42,09	6,7	71,57

La Tabla 4.3 muestra la tabulación de datos luego de realizar 5 muestras para la determinación del ángulo de chorro diésel inyectado nos muestra un ángulo promedio de 78°, desde la punta del inyector hasta una distancia fija de 12 cm.

#### 4.2.2 ÁNGULO DEL CHORRO CALCULADO AL USO DE BIODIÉSEL B5.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores, cuando este trabaja con biodiésel con mezcla B5, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 4.4, muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

**Tabla 4.4** Resultados de ángulo usando biodiésel B5.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen cono (cm3)	DIAMETRO cm	Ángulo del cono (°)
<b>B5</b>	12	13,2	45,86	7,3	79,80
	12	13,4	49,63	7,9	88,62
	12	13,3	47,12	7,5	82,67
	12	13,3	45,23	7,2	78,39
	12	13,3	46,49	7,4	81,23

La Tabla 4.4 muestra la tabulación de datos luego de realizar 5 muestras para la determinación del ángulo de chorro diésel inyectado nos muestra un ángulo promedio de 82,6°, desde la punta del inyector hasta una distancia fija de 12 cm.

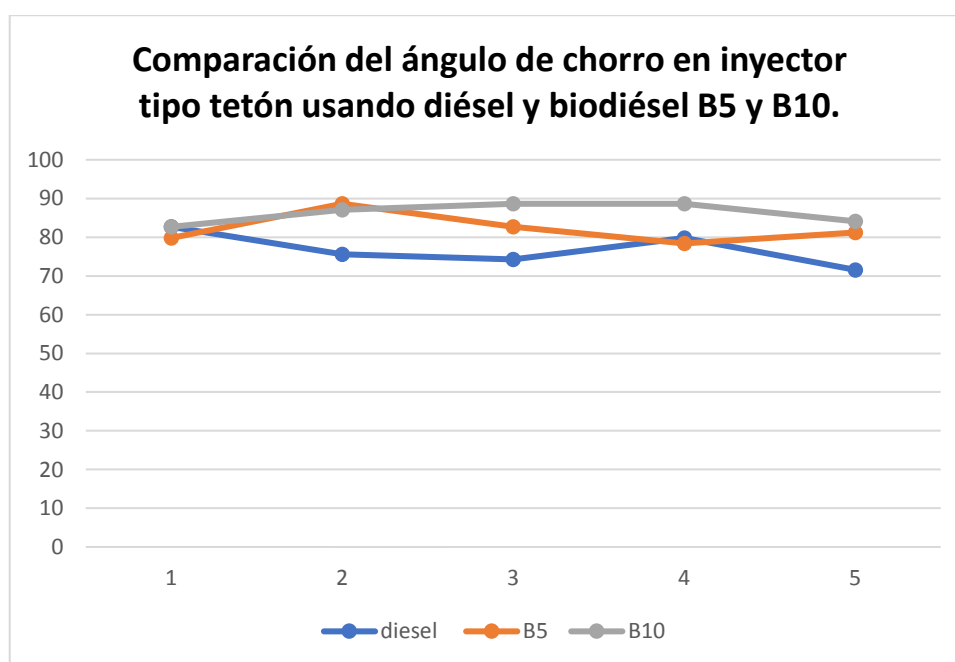
#### 4.2.3 ÁNGULO DEL CHORRO CALCULADO AL USO DE BIODIÉSEL B10.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores, cuando este trabaja con biodiésel con mezcla B10, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 4.5 muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

**Tabla 4.5** Resultados ángulo usando biodiésel B10.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen cono (cm3)	DIAMETRO cm	Ángulo del cono (°)
<b>B10</b>	12	13,5	47,12	7,5	82,67
	12	13,4	49,00	7,8	87,11
	12	13,4	49,63	7,9	88,62
	12	13,7	49,63	7,9	88,62
	12	13,5	47,75	7,6	84,1368523

La Tabla 4.5 muestra la tabulación de datos luego de realizar 5 muestras para la determinación del ángulo de chorro diésel inyectado nos muestra un ángulo de 86,6 °, desde la punta del inyector hasta una distancia fija de 12 cm.



**Figura 4.4.** Comparación del ángulo de chorro en un inyector tipo tetón usando diésel y biodiésel.

La Figura 4.4 muestra las curvas características del chorro diésel luego de la tabulación de datos obtenidos, mostrando una gran uniformidad en su ángulo al uso del biodiésel a una mezcla B10, en comparación al biodiésel con mezcla B5 y con diésel. Dados estos resultados se puede decir que la mejor característica de chorro se presenta cuando este usa el biodiésel con mezcla B10.

### 3.3 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INYECTORES ELECTRÓNICOS, AL USO DEL BIOCOMBUSTIBLE.

Para poder observar la cantidad de volumen de combustible inyectado se colocó el inyector electrónico denso, este cuenta con 6 orificios de inyección en la tobera, se instaló el inyector en el probador de presión de inyectores diésel a una distancia de 15 cm, para accionarlo se utilizó un equipo para el control electrónico del inyector, permitiéndonos la apertura del inyector, entonces el chorro se refleja en una hoja de papel. Donde, se pueda medir su diámetro aproximado y definir un volumen de combustible inyectado.

#### 4.3.1 ÁNGULO DEL CHORRO CALCULADO AL USO DE DIÉSEL.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores electrónicos, cuando este trabaja con biodiésel con mezcla B10, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 4.6 muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

**Tabla 4.6** Resultados de ángulo de chorro usando diésel.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen cono (cm3)	DIAMETRO cm	Ángulo del cono (°)
Diésel	15	20,3	118,73	5,5	21,24
	15	19,9	141,3	6	23,22
	15	20	136,62	5,9	22,83
	15	20,1	160,76	6,4	24,82
	15	20,2	132,03	5,8	22,43

La tabla 4.6 muestra el ángulo del chorro formado al uso de combustible diésel, tomado en 5 muestras a una altura de 15 cm, este muestra un ángulo promedio de 23° de formación de chorro. Este ángulo es más pequeño que los ángulos obtenidos en los inyectores mecánicos por el motivo que, estos presentan mayor cantidad de orificios de inyección en la tobera de inyección. Por lo tanto, distribución del combustible hacia todos los orificios de la tobera genera una disminución de presión más rápida en comparación a los inyectores mecánicos.

### 4.3.2 ÁNGULO DEL CHORRO CALCULADO AL USO DE BIODIÉSEL B5.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores electrónicos, cuando este trabaja con biodiésel con mezcla B5, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 4.7, muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

**Tabla 4.7** Resultados de ángulo usando biodiésel B5.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen cono (cm3)	Diámetro (cm)	Ángulo del cono (°)
<b>B5</b>	15	13,2	170,97	6,6	25,62
	15	13,4	160,76	6,4	24,82
	15	13,3	155,78	6,3	24,42
	15	13,3	165,83	6,5	25,22
	15	13,3	165,83	6,5	25,22

La Tabla 4.7 se observa el ángulo del chorro formado al uso de biodiésel con mezcla B5, tomado en 5 muestras a una altura de 15 cm, mostrando un ángulo promedio de 23° de formación de chorro.

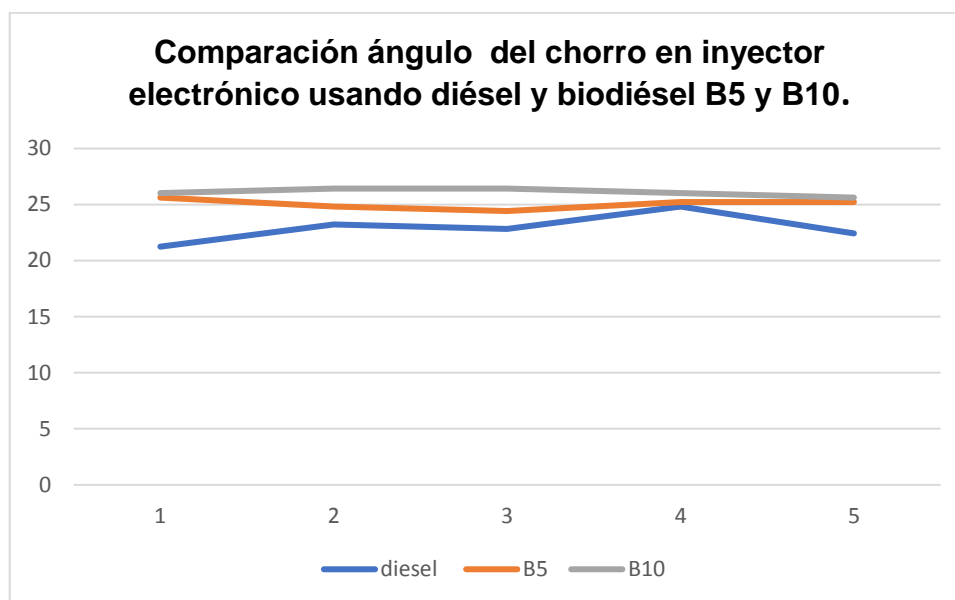
### 4.3.3 ÁNGULO DEL CHORRO CALCULADO AL USO DE BIODIÉSEL B10.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores electrónicos, cuando este trabaja con biodiésel con mezcla B10, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 4.8, muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

**Tabla 4.8** Resultados ángulo usando biodiésel B10.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen cono (cm3)	Diámetro (cm)	Ángulo del cono (°)
<b>B10</b>	15	13,5	176,19	6,7	26,02
	15	13,4	181,49	6,8	26,42
	15	13,4	181,49	6,8	26,42
	15	13,7	176,19	6,7	26,02
	15	13,5	170,97	6,6	25,62

La Tabla 4.8 muestra el ángulo del chorro formado al uso de biodiésel con mezcla B5, tomado en 5 muestras a una altura de 15 cm, mostrando un ángulo promedio de 23° de formación de chorro.



**Figura 4.5** Comparación ángulo del chorro en inyector electrónico usando diésel y biodiésel B5 y B10.

La Figura 4.5 muestra las curvas características del chorro diésel luego de la tabulación de datos obtenidos, mostrando una gran uniformidad en su ángulo al uso del biodiésel a una mezcla B10, en comparación al biodiésel con mezcla B5 y con diésel. Al igual que los resultados en los inyectores diésel mecánicos su chorro es mas uniforme al uso del biocombustible a una mezcla B10.

#### 4.4 PRUEBA DE ENTREGA Y RETORNO DE CAUDAL USANDO DIÉSEL Y BIODIÉSEL.

Ésta prueba se lo realiza con el propósito de comprobar el funcionamiento de los inyectores diésel electrónicos y su comportamiento con los combustibles mencionados en la investigación. En esta prueba se utilizó el comprobador de inyectores diésel, permitiéndonos medir la cantidad de combustible inyectado, en un tiempo determinado de apertura del inyector y a 100 ciclos de apertura.



**Tabla 4.9** Datos Obtenidos de la Prueba de inyectores diésel.

COMBUSTIBLE	RECOLECCIÓN DE DATOS PRUEBA DE ENTREGA Y RETORNO DE COMBUSTIBLE					
DIÉSEL	Injection time	Reposo	Injection Count	Entrega	Retorno	Presión
	1	60s	100	4,9	5,5	500- 560
	1,25	60s	100	6,3	5,5	490- 540
	1,5	60s	100	7,5	5,5	450 -500
	1,75	60s	100	8,1	5,6	450-500
	2	60s	100	9	5,8	490-550
B5	1	60	100	5,1	6,1	550-590
	1,25	60	100	6,9	6,3	550- 590
	1,5	60	100	7,5	6,5	540-580
	1,75	60	100	8	6,4	500-540
	2	60	100	13	5,5	450-500
B10	1	60	100	7,1	6	600-650
	1,25	60	100	9,3	6	600-650
	1,5	60	100	10,9	6,1	550-600
	1,75	60	100	12	6,3	500-540
	2	60	100	14	6,5	450-500

La Tabla 4.9 muestra la entrega y el retorno de combustible obteniendo mayor cantidad de entrega al uso de biodiésel con mezcla B10, con valor máximo de  $14 \text{ cm}^3$  en entrega de combustible,  $6,5 \text{ cm}^3$  en retorno de combustible; al uso de biodiésel con mezcla B5, se obtuvo un valor máximo de  $13 \text{ cm}^3$  en la entrega de combustible,  $6.5 \text{ cm}^3$  en su retorno y al uso de diésel mostró una entrega máxima de  $9 \text{ cm}^3$  con  $5.8 \text{ cm}^3$  en su retorno. En cuanto a la presión se ve un aumento de esta

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

- El uso de biodiésel en vehículos diésel convencionales modifica su rendimiento (potencia y par motor), como también en el consumo de combustible y en la emisión de gases contaminantes. Donde, su potencia se pierde cuando este alcanza las revoluciones máximas de 3 500 rpm, con un porcentaje de pérdida del 1.12 % con respecto al diésel. Mientras que el rendimiento del motor presenta una mejoría en un 1,9 % con respecto al diésel, cuando este alcanza unas RPM desde, el 1 600 rpm hasta 3 300rpm.
- Se ha comprobado que el biodiésel a partir del aceite de higuera muestra una viscosidad más alta con un valor de 4,21 cSt en relación a la del diésel, que muestra una densidad máxima de 4.1 cSt, esto hace que el comportamiento del sistema de inyección de combustible, alterando los parámetros característicos de la inyección del combustible.
- Se pudo observar que el ángulo de chorro es diferente para cada inyector según la presión de apertura del mecanismo. En los inyectores mecánicos con tobera tipo tetón que consta de un solo orificio de inyección, presenta un ángulo de chorro de combustible de 76° al uso de diésel, 82.6° al uso de B5 y 86° al uso de biodiésel con una mezcla B10. Este ángulo es mayor que un inyector tipo lápiz, que comúnmente presenta entre 4 a 8 orificios de inyección. Estos presentaron ángulos en el chorro de combustible de 22.1° al uso de diésel, 24.6° al uso de B5 y 26.2° al uso de una mezcla B10. Obteniendo un mayor ángulo al uso de Biodiésel con mezcla B10.
- Los posibles residuos que se formarían en los inyectores, al usar la mezcla B5 y B10, no han presentado problemas en periodos cortos, los inyectores no se han obstruido en con el combustible reposando en el esquema interno del inyector mecánico y electrónico.

## 5.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda el estudio del desgaste de los elementos de inyección en la bomba de alta presión como en el mecanismo de accionamiento del inyector al uso de biocombustibles.
- Se debe realizar una investigación real de campo en vehículos que se usen diariamente y recolectar datos del uso del biocombustible del vehículo a plena carga y sus efectos en el sistema de inyección.
- Buscar más alternativas en la obtención de diversos aceites que presenten diferentes características fisicoquímicas y comparar resultados en cuanto al rendimiento de los motores al usarlos como combustible alternativo.
- Investigar el comportamiento de los inyectores al uso de biodiesel con mezclas de B15, B20, B30 o incluso al uso de biodiésel B100.
- El estudio del comportamiento de la bomba de inyección en la entrega del combustible al uso del diésel y el biodiésel con mezclas de cualquier proporción.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bosch. (2017). Inyectores Bosch. *Soluciones completas y diagnósticos de piezas*, 9.
2. Buitrago, A. (2008). Los Inyectores Diésel. *Inyectores*, 18.
3. Chinchilla, M. (19 de Enero de 2015). *La delimitación del trabajo de investigación*. Obtenido de La delimitación del trabajo de investigación: <https://es.slideshare.net/mariochinchilla969>
4. Fajardo, F. (2015). *Técnicas de caracterización para el uso de biodiésel basados en la normatividad internacional ASTM*. Obtenido de <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38339542>
5. Francisco Payri, J. M. (2008). *Modelado Fenomenológico del proceso de combustión por difusión diésel*. Valencia: Reverté.
6. García, J. M. (2006). *El proceso de Combustión Turbulenta de chorros Diésel de inyección directa*. Barcelona: Reverté.
7. Gimeno, J. (2012). *Estudio de la Inyección Diésel Mediante la medida del flujo de cantidad de movimiento del chorro*. Valencia: Reverté.
8. INEN. (2013-2015). *Catálogo de documentos normativos vigentes*. Obtenido de [www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/.../catalogo-normas.xls](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/.../catalogo-normas.xls)
9. Ivonne, H., & Gonzales, G. (2015). Biodiésel vs Petrodiésel. 2.
10. Karina, H. (2012). *Obtención y caracterización de biodiésel a partir de aceite de semillas de higuera*. Pereira.
11. KIA. (2012). *Vehículos*. Obtenido de <https://www.coches.net/ficha-tecnica-kia-sorento-2.5-crdi-exii-170cv-5p-diesel-56546620070301-ftft.aspx>
12. Ledesma, S. (2010). *ArgenBio*. Obtenido de Los biocombustibles: <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/biocombustibles.pdf>

13. Manuel Michelena, F. M. (2008). *Los Biocombustibles*. Madrid- Barcelona- Mexico: Mundi- Prensa.
14. Medina, I., Chávez, N., & Rincón, J. (2012). Biodiésel, un combustible renovable.
15. Palermo. (19 de Noviembre de 2008). *Biodiésel*. Obtenido de [http://www.palermo.edu/economicas/pdf\\_economicas/Presentacion\\_biocom\\_Serinberg.pdf](http://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Serinberg.pdf)
16. Pavia, P. (2015). *Cálculo de un sistema de inyección Multiífuel para inyectores diésel*. Valencia.
17. Plan de Orientación y Acción Tutorial. (2010). *La definición de los objetivos de investigación*. Sevilla.
18. Plan Nacional del Buen Vivir. (2013 ). *Documentación Semplades*. Obtenido de <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan%20Nacional%20Buen%20Vivir%202013-2017.pdf>
19. SAE. (2004). SAE J1349. *SAE Internacional*, 3 - 15. Obtenido de SAE Internacional.
20. Salinas, E., & Gasca, V. (2009). *Los biocombustibles*. Obtenido de Los biocombustibles: <http://www.redalyc.org/pdf/325/325127390009.pdf>
21. Sánchez, E. (2009). *Sistemas Auxiliares del motor*. millan.
22. Stratta, J. (2000). *Biocombustibles*:. México.
23. Zapata, L., & Pastor, J. (2010). *Caracterización de los procesos de inyección-combustión mediante visualización y procesado de imágenes* . Valencia.

## **ANEXOS**

## ANEXO I OBTENCIÓN DEL BIODIÉSEL



**Figura AI. 1** Reactor químico utilizado para la elaboración del biodiésel a partir del aceite de higuera.



**Figura AI. 2** Control de la temperatura dentro del proceso de transesterificación, Lavado del biodiésel después del proceso de transesterificación.



**Figura AI. 3** Evaporación del agua mediante por medio de la temperatura, Separación del biodiésel por reposo.



## ANEXO II

### CERTIFICACIÓN BIODIÉSEL



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



#### INFORME DE RESULTADOS PETRÓLEO

Informe N° 17-03-02-P-1  
 Fecha 2017-04-04

**Referencia:** OT-17-03-02-P  
**Atención:** Ing. Carlos Maffa  
**Empresa:** UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
**Dirección:** Ibarra  
**Tipo de ensayos:** Análisis Físicoquímicos  
**Tipo de muestra:** BIODIÉSEL  
**Identificación de la muestra:** BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE HIGUERILLA MEZCLA B10  
**Descripción de la Muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de la muestra:** 2017-03-08  
**Código de muestra:** OE-17-03-02-P-1  
**Fecha de realización de ensayos:** 2017-03-09 a 2017-03-31

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
DENSIDAD API A 60°F*	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	34,0
PUNTO DE INFLAMACIÓN*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-92	72,1
		PNE/DPEC/P/ASTM D-93	
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,05
AGUA POR DESTILACIÓN*	%V	ASTM D-95	0,050
CENIZAS*	%P	ASTM D-482	0,0080
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,21
AZUFRE*	%P	PNE/DPEC/P/M104 Ref. ASTM D-4294	0,0148
RESIDUO CARBONOSO SOBRE 10% DE RESIDUO DE DESTILACIÓN ASTM D-86*	%P	ASTM D-189	0,13
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE CU*	Unidad de Corrosión	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1b
ÍNDICE DE CETANO CALCULADO*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	51
SODIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111 B	28,418
POTASIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	7,268
CALCIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	4127,586
MAGNESIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	10,268
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90 %*	°C	ASTM D-86	350,7

**Nota.** - Los ensayos marcados (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

**Condiciones Ambientales.** - Presión 542,9 mm Hg; Temperatura: 17,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado por:

Ing. Fernanda Toasa L.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Ghem Carvajal C.  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26  
 QUITO - ECUADOR

E-mail: [fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec](mailto:fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec)

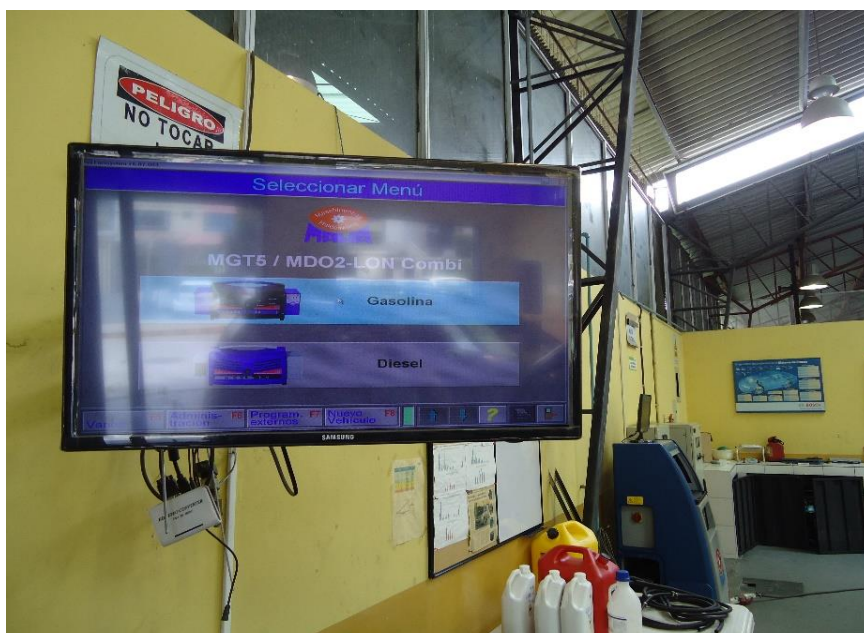
MC2201-P01-6

Hoja 1 de 1

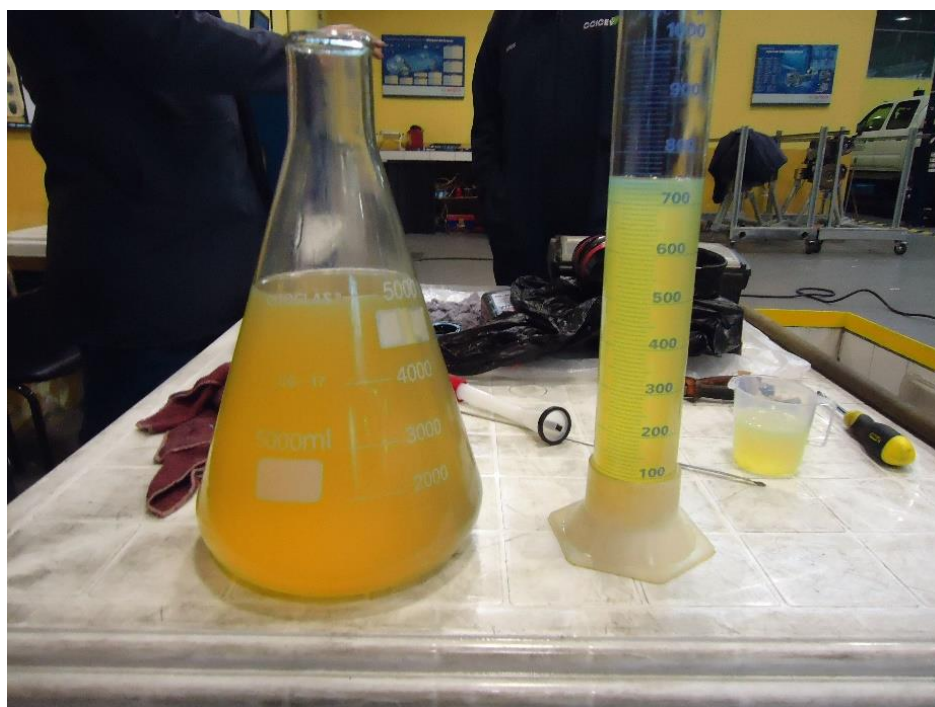
**Figura AII. 1** Certificación del biocombustible otorgado por la Universidad Central del Ecuador.

### ANEXO III

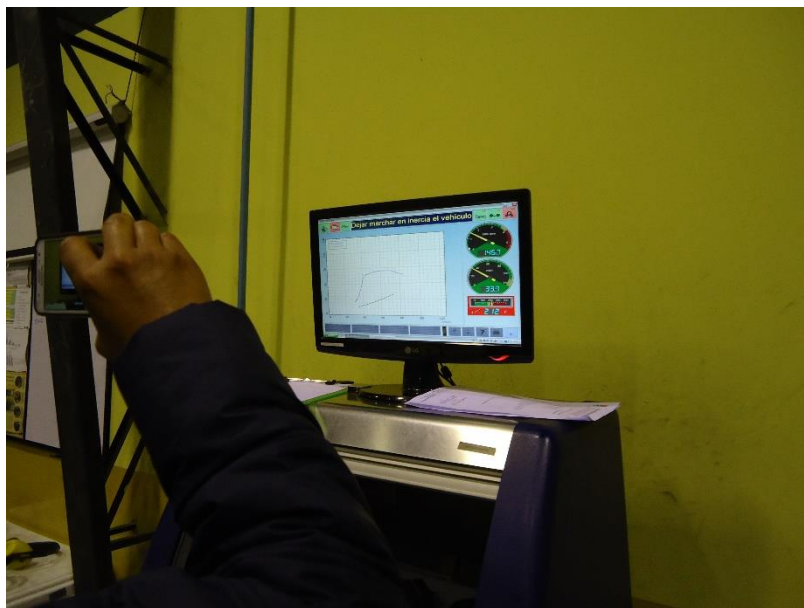
## PRUEBAS TORQUE Y POTENCIA



**Figura AIII. 1** Equipo de medición del dinamómetro.

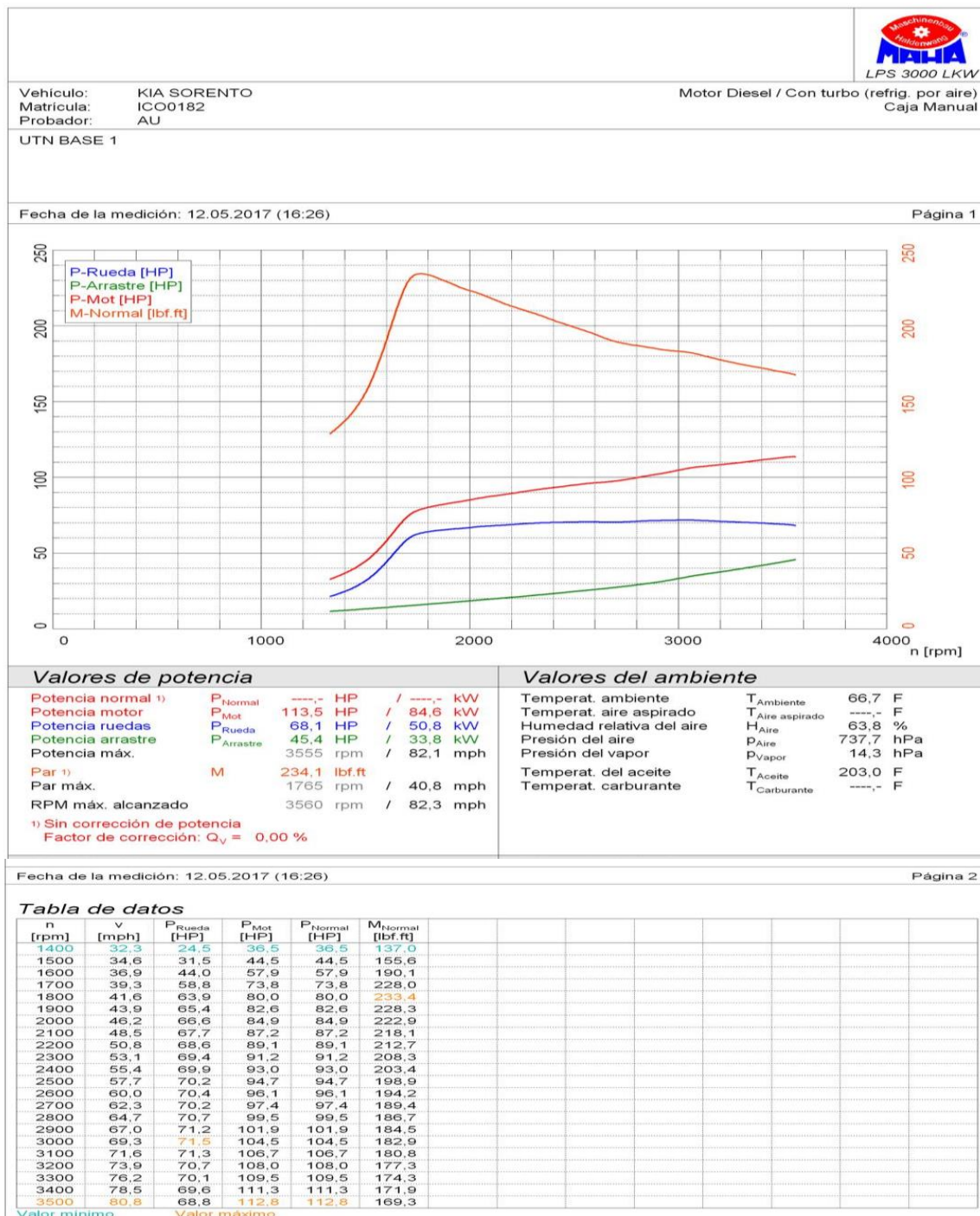


**Figura AIII. 2** Medición de las mezclas B5 y B10.



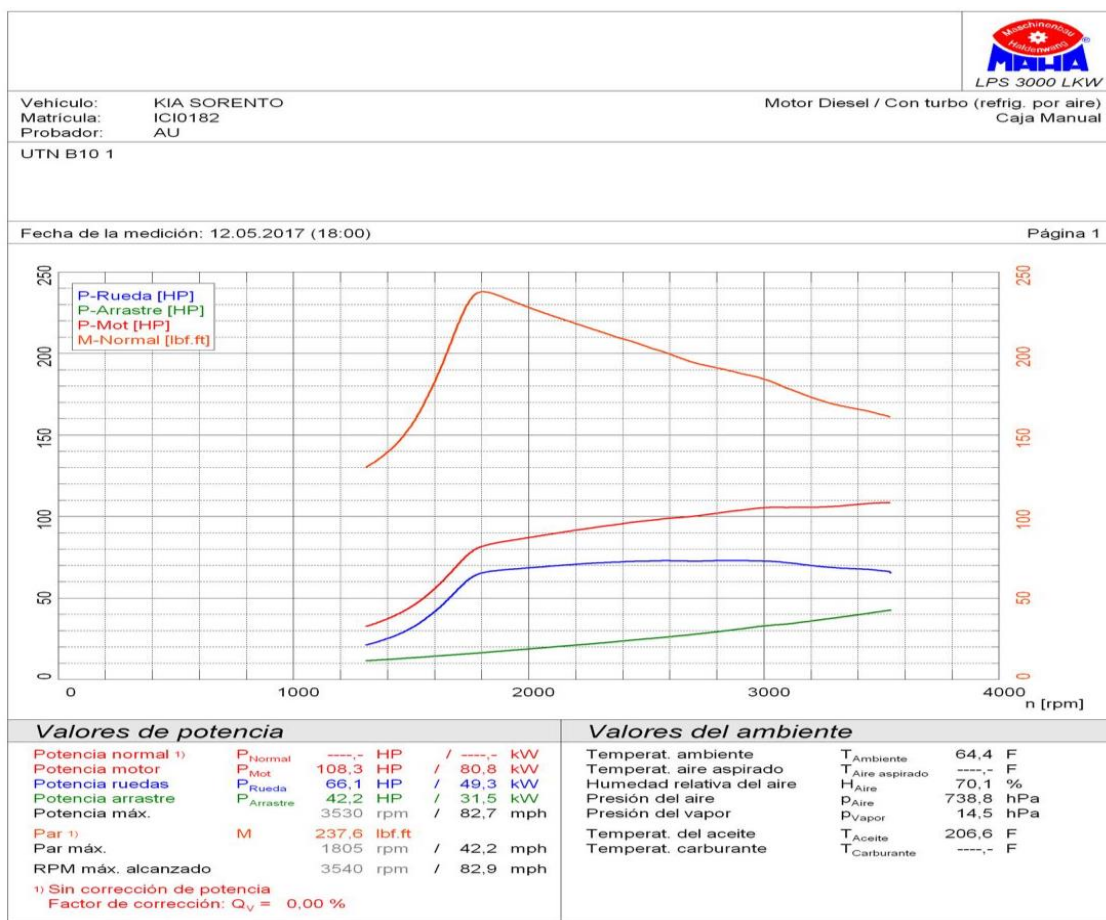
**Figura AIII. 3** Programa de medición en el dinamómetro.

## ANEXO IV RESULTADOS TORQUE Y POTENCIA



**Figura AIV. 1** Resultados de torque y potencia del motor usando diésel.





Fecha de la medición: 12.05.2017 (18:00) Página 2

**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1400	32,8	25,0	37,1	37,1	139,2
1500	35,1	31,3	44,4	44,4	155,4
1600	37,5	41,4	55,6	55,6	182,4
1700	39,8	55,2	70,4	70,4	217,6
1800	42,2	65,2	81,4	81,4	237,6
1900	44,5	67,1	84,6	84,6	233,7
2000	46,9	68,3	86,8	86,8	228,1
2100	49,2	69,4	89,2	89,2	223,0
2200	51,5	70,5	91,4	91,4	218,2
2300	53,9	71,3	93,5	93,5	213,4
2400	56,2	72,0	95,4	95,4	208,8
2500	58,6	72,4	97,2	97,2	204,2
2600	60,9	72,7	98,7	98,7	199,4
2700	63,3	72,4	99,9	99,9	194,3
2800	65,6	72,7	101,8	101,8	191,0
2900	67,9	72,7	103,6	103,6	187,6
3000	70,3	72,4	105,1	105,1	184,0
3100	72,6	71,4	105,3	105,3	178,4
3200	75,0	69,7	105,4	105,4	173,0
3300	77,3	68,4	106,0	106,0	168,6
3400	79,7	67,6	107,2	107,2	165,6
3500	82,0	66,5	108,2	108,2	162,3

Valor mínimo      Valor máximo

**Figura AIV. 2** Resultados de torque y potencia del motor usando biodiésel con mezcla B10.

**ANEXO V**  
**ESTUDIO EN LOS INYECTORES DIÉSEL**



**Figura AV. 1** Corte del inyector mecánico y electrónico.



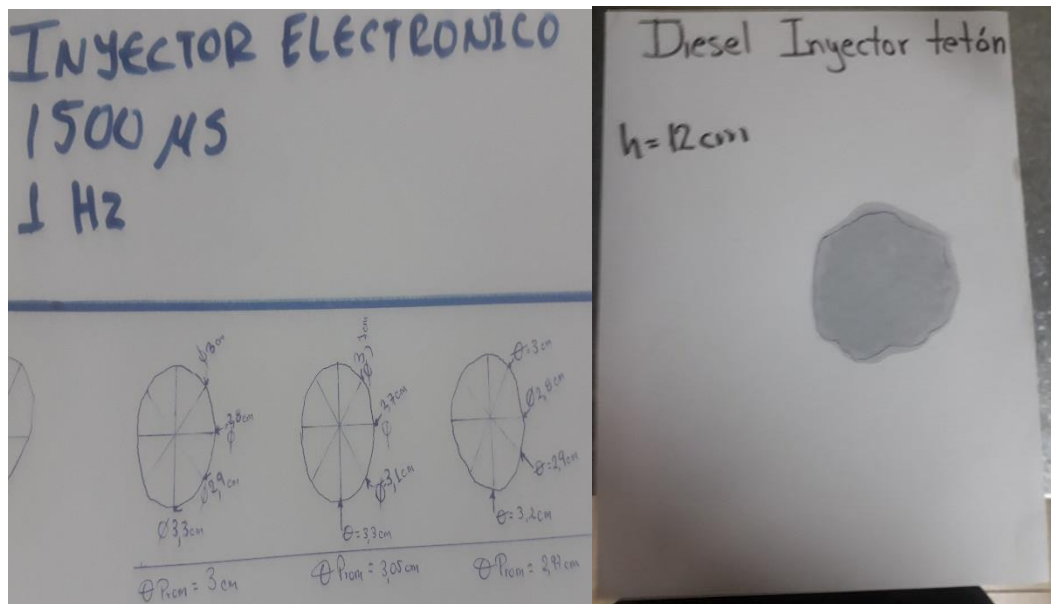
**Figura AV. 2** Corte de las toberas de inyección.



**Figura AV. 3** Pruebas para cálculo del ángulo en los inyectores electrónicos.



**Figura AV. 4** Pruebas de entrega y retorno de combustible.



**Figura AV. 5** Chorro diésel mostrado en la prueba.